معهد الانماء العربي

تقديم لمشروع دراسات التقنية النووية بالدول النامية

د. محمد عزت عبد العزيز

١٩٨٢



تقديم لمشروع
دراسات التقنية النووية
بالدول النامية

معهد الإنماء العربي

تقديم لمشروع دراسات
التقنية النووية بالدول النامية

د. محمد عزت عبد العزيز

الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية
طرابلس ـ ١٩٨٠ ·

سلسلة كتب «التكنولوجيا النووية في البلدان النامية»

تصدر عن:

معهد الانماء العربي، برنامج العلم والتكنولوجيا
بيروت ـ لبنان

الطبعة الاولى بيروت ١٩٨٢

تنويه وشكر

تأسس فريق التقنية النووية في أوائل عام ١٩٧٨ بمعهد الانماء العربي في طرابلس، الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية بناء على اقتراح قدمه إلى المحرر مدير عام معهد الانماء العربي الدكتور علي بن الأشهر. وفي المناقشة التي دارت حول أهمية المسائل المتعلقة بالدول النامية والدور الذي يجب أن تلعبه في التقنية النووية، كان الاقتناع تاماً لوجود مشاكل وتطلعات وعلى أن احتياجات الدول النامية للتقنية النووية تتأثر بعوامل تكنولوجية واقتصادية وبيئية إلى جانب العوامل السياسية والاستراتيجية. من هنا نبعت الحاجة بضرورة تحليل دور الدول النامية واحتياجاتها كافة وبجوانبها المختلفة من قبل اخصائيين في مختلف مجالات العلوم النووية واجراء دراسة نظرية تقدم مفاهيم وثيقة الصلة بهذا الموضوع. واختير لهذه المهمة علماء منتقون من دول متقدمة ودول نامية أنجزوا الدراسات التي تتناولها المجلدات، من المجلد الثاني وحتى المجلد السابع من هذه السلسلة.

يستعرض المجلد الأول التمهيدي مختصراً لبرنامج تصوري اقترحه المؤلف للاستعانة به كمؤشرات يجدر أخذها بعين الاعتبار من قبل أعضاء فريق التقنية النووية. ويتضمن كذلك ملخصات للدراسات بالاضافة إلى تقرير يتناول المناقشات والاستنتاجات والتوصيات في اجتماع هيئة الخبراء الذي أقيم في طرابلس في الفترة الواقعة بين ٥ ـ ٨ نوفمبر ١٩٧٩ حيث قدم الخبراء

الذين شاركوا في مشروع هذه الدراسة، أعمالهم في مناقشة مفتوحة.

ويؤمل أن يقوم فريق التقنية النووية في معهد الانماء العربي من خلال الدراسات التي قدمت في هذه المجلدات، بافتتاح المناقشة والجدل ولفت الانتباه إلى المشاكل الأساسية للطاقة النووية في الدول النامية بوجه عام، والدول العربية بوجه خاص.

إن الدور البارز الذي يلعبه معهد الانماء العربي في تحقيق هذا العمل جلي وواضح. ويود المؤلف أن ينوه على الأخص، وبتقدير عميق، إلى المساندة والتشجيع والاهتمام الكبير الذي أبداه الدكتور علي بن الأشهر، المدير العام لمعهد الانماء العربي، في اقتراحه فكرة مشروع الدراسة هذه ودعمه المستمر لأعضائه. كما يود المؤلف أن يعبر أيضاً عن امتنانه للمشاركين في هذا العمل: الدكتور اتش. ب. بودين، اخصائي فيزياء البلازما وبحوث الاندماج في مختبر كلهام في بريطانيا، والدكتور ش. فاليه الأخصائي في تقنية الاشعاع في معهد العناصر المشعة ببلجيكا، والدكتور اس. يانكوفيتش أستاذ الجيولوجيا والتعدين ببلغردا في يوغوسلافيا، والدكتور ك. عفت رئيس مؤسسة الطاقة الذرية المصرية، والدكتور ع. الجبيلي الوزير السابق للبحث العلمي والطاقة الذرية بالقاهرة، مصر.

ولقد ساهم عدد من موظفي معهد الانماء العربي، في كل من طرابلس وبيروت، مساهمة كبرى في انجاح هذا العمل.

وتخص بالذكر، وبكل تقدير، الجهود التي بذلت بسخاء من قبل الاداريين والطابعات؛ إلى كل هؤلاء يوجه المؤلف كل امتنانه.

المحرر

جدول المحتويات



١ ـ البرنامج العام لدراسات التقنية النووية في الدول النامية

المقدمة:

لعبت التقنية النووية دوراً بارز الأهمية في تحقيق تقدم العالم التكنولوجي والصناعي والذي ينظر إليه في هذا المضمار كثورة تحدد عصرنا هذا بما يسمى عصر الذرة. ويظهر ذلك بشكل واضح في الاستخدامات السلمية وغير السلمية للطاقة الذرية. ومن بعض الأمثلة المعروفة نذكر ما يلي:

١ ـ توليد الطاقة الكهربائية عن نظم القوى النووية على أساس سعر سوق اليوم والذي يعتبر أقل تكلفة من أية طريقة منافسة أخرى، وهي تقنية قادرة على حل إحدى أكثر المشاكل خطورة والتي تواجه استمرارية تقدم العالم، أي التزويد السريع الانخفاض للوقود الحفرية.

٢ ـ استخدام النظائر المشعة ومصادر الاشعاع في مجالات مختلفة لتطبيقات متعلقة بمشاريع إنمائية ويعتبر هذا الاستخدام إحدى الوسائل الفنية الأكثر رجاء.

٣ ـ الاستخدامات السلمية للتفجيرات النووية من الممكن أن تفتح مجالاً جديداً من أجل تنفيذ مشاريع ضخمة ذات فوائد اقتصادية ممكنة.

٤ ـ بحوث مكثفة مستمرة الآن بشأن مشاكل الاندماج من الممكن أن تؤدي في يوم ما إلى حل ما يعرف بأزمة الطاقة.

من ناحية أخرى، ابتدعت الاستخدامات غير السلمية للتقنية النووية أسلحة نووية مع كل ما يتأتى عنها من رعب، نتجت عنها عواقب اجتماعية وانسانية وعسكرية خطيرة.

كما أن انتشار القنابل الذرية والقنابل الهيدروجينية وحديثاً اختراع القنابل النيوترونية أصبحت كلها تشكل تهديداً حقيقياً لوجود البشرية. وبشكل عام، فللاستخدامات السلمية وغير السلمية للتقنية النووية تأثير هام اقتصادياً واستراتيجياً على الدول النووية في حين أن الدول النامية تعاني الكثير من أجل اكتساب المهارة في الأساليب «أعرف ـ كيف» ومعرفة التقنية النووية. إلا أنه لديها هي أيضاً مشاكلها الخاصة بها.

فالدراسات النظرية المكثفة للجوانب المختلفة للتقنية النووية سوف تستعرض بوضوح النواحي الايجابية والسلبية للتقنية النووية. وفي الدراسة التي قام بها فريق التقنية النووية بمعهد الانماء العربي، أجريت محاولة للقيام بتحليل علمي يتناول القضايا الرئيسية للتقنية النووية في مختلف فروعها المختصة.

الأهداف العامة والرئيسية لدراسات التقنية النووية:

فيما يختص بالتقنية النووية، يمكن لعالم اليوم أن يقسم إلى مجموعتين كبيرتين: الدول المتقدمة صناعياً مع ما لديها من انجازات ذات أهمية تكنولوجية واقتصادية واجتماعية في التقنية النووية، كما أن لديها أيضاً طموحات بعيدة المدى للتطلع إلى القوى النووية كالملاذ الوحيد الذي تستطيع من خلاله تحقيق درجة من الاستقلالية للطاقة. إلا أن فترة الركود وأنظمة المحاكم والتحركات التظاهرية ضد أخطار التقنية النووية تعيق تلك الطموحات.

أما المجموعة الثانية فتتمثل بالدول النامية التي يعيقها في محاولاتها للتوجه قدماً نحو التقنية النووية ،النقص الخطير في الخبرات المختصة في التقنية التي ما زالت تعرف بالأكثر تعقيداً، والنقص أيضاً في الادارة الجيدة والصعوبات الاقتصادية في بعض الأحيان. فالهوة بين الدول النامية والدول المتقدمة هائلة،

كما أنها تزداد مع الوقت. ووسط كل هذه المعمعة ولايجاد مخرج من كل ذلك، أخذ الآن بالتفكير الجدي وبذلت في بعض الأحيان ـ وما زالت تبذل ـ جهود نشطة من أجل إيجاد بديل آخر. فالتساؤل والجدل قائم حول مدى استمرارية الدول المتقدمة صناعياً في تقدمها التقني النووي وإمكانية الدول النامية اعطاء الأولوية للتقنية النووية من بين كل خطط التنمية الأخرى، وما إذا كان ينبغي على الدول النامية الحرص في اختيار مشاريع مناسبة تلائم الاحتياجات المحلية.

إن الهدف من تلك الدراسات في المجلدات ٢ ـ ٧ هو الوصول الى استنتاجات تجيب أو على الأقل توضح تلك المشاكل.

أهمية الدراسات المقترحة:

وكما ذكر آنفاً، فإن جدلاً حامياً قائم الآن في الدول النامية حول ما إذا كان ينبغي على تلك الدول توجيه اهتمامها إلى اكتساب التقنية النووية عندما تنقصها الخبرات المختصة والخلفيات التقنية، ومتى يمكنها اعطاء الأولوية لخطط التنمية غير النووية؛ أي خطط التنمية الصناعية والزراعية والتربوية والثقافية وخطط العناية الصحية... إلخ.

إن بعض المتحمسين يطالب بالتمسك بعصر الذرة ما دام قد فاتهم عصر الكهرباء. وتحذّر الأصوات المعارضة بأن سعر التقنية النووية سيتجاوز بكثير قدرة الدول النامية، ليس فقط بسبب الصعوبات الاقتصادية ولكن لأنها تمثل استنزافاً خطيراً لخبرات القوة البشرية المحدودة. وفي الدول المتقدمة، يذهب بعض النقاد اللاذعين إلى حد التطرف يقول عن التقنية النووية أنها «غير آمنة ولا مضمونة ولا يعتمد عليها علاوة على كونها غير ضرورية وليست اقتصادية». وأهمية الدراسات المقترحة هي توضيح الحقيقة في النظريتين المختلفتين من خلال وسائل التحليل العلمي لجوانب متباينة لكل مجال رئيس للتقنية النووية. والهدف

من تلك الدراسات هو التوصل إلى ايجاد حل للسؤال المطروح حول المجالات النووية وتحت أية ظروف يكون أحد أنظمة التقنية النووية أكثر ايجابية لاستخدام مناسب واقتصادي ومنافس للتقنيات غير النووية.

وسائل طرق الموضوع وجوانب الدراسات:

ستكون الدراسات في كل مجال رئيس للتقنية النووية والتي يشار إليها في القسم التالي، وبشكل مكثف في المقام الأول، نظرية وربما تدعمها الاحصائيات ونتائج التجارب المتوفرة بالاضافة إلى تطورات معروفة قد رسخت في كل مجال. وتتضمن هذه الدراسات بالطبع آراء المؤلف وتعليقاته واستنتاجاته. كما أنه من الجائز أن يسبق هذه الدراسات عرض أو تحليل مسح شامل لأعمال سابقة تم انجازها بشأن النظريات والأنظمة والتقنيات... إلخ.

وسيكون تحديد وتقييم الأنظمة والوسائل المختلفة.. إلخ طريقة أخرى ثانية لمعالجة الموضوع بتحليل علمي لعلها تحدد أفضل شروط في هذاالبحث.

وسوف تتناول هذه الدراسات الجوانب التالية للتقنية النووية، لكل مجال منتقى من العلوم النووية.

١ ـ نظرية: وتتناول الاستنتاجات عوضاً عن التعمق في التفاصيل النظرية؛ مجرد تحليل نظري ملائم لعرض الأساس النظري للتقنيات المناسبة.

٢ ـ تقنية: تتناول وضع الفن (العلم) وأحدث الانجازات بالاضافة إلى الدراسات المقارنة إذا وجدت.

٣ ـ اقتصادية: وكيفية مقارنة التقنية بالتقنيات غير النووية.

٤ ـ استراتيجية: والنتائج المتعلقة بالخلافات الدولية.

٥ ـ بيئية: وتتضمن المخاطر والسلامة (الأمان) والحماية.

٦ ـ الدول النامية: واحتياجاتها الخاصة للتقنية النووية.

المجالات التي تغطيها الدراسات:

تعالج دراسات التقنية في المجلدات من الثاني وحتى السابع منها. المجالات

الرئيسية للتقنية النووية والتي لها علاقة مباشرة أو التي ينتظر أن تؤدي إلى تأثير جدي على تقدم العالم وربما على خطط التنمية. وعلى أساس النقاط المذكورة أعلاه، تتضمن الدراسات الخطوط الرئيسة التالية:

١ - أ - وضع اليورانيوم في العالم، والتنقيب عنه واقتصادياته بالاضافة إلى استخراجه ودورة الوقود وتصنيعه، إلى جانب تطوير وانتاج وقود البلوتونيوم ونقل المواد الاشعاعية والتخلص من النفايات.

ب - تثرية اليورانيوم (يو ٢٣٥): الطرق الحديثة والتقليدية، طرق الفصل الديناميكية الهوائية، الغشائية النفاثة، المستنبىء الفاصل، النفاثات والأحزمة العالية النقاوة، عملية الفوهة الفاصلة، طرق الانتشار الغازي والطرد المركزي بالاضافة إلى الدراسات المقارنة بين الطرق المختلفة (مع الأخذ بعين الاعتبار النقاط المذكورة في القسم السابق).

٢ - المفاعلات والطاقة النووية: دراسات لجوانب التصميم والانشاء (نظم المفاعلات ومركباتها)، التحليل والمواد وأنواع نظم المفاعلات (محطات مفاعلات الماء العادي والمفاعلات المبردة بالغاز ومفاعلات السائل والمعدن المتوالد السريع.. .الخ) بالاضافة إلى تجارب التشغيل ونظام تشغيل المفاعل وفعالية مكونات قلبه (مع الأخذ بعين الاعتبار النقاط المشار إليها في القسم السابق).

٣ - النظائر المشعة ومصادر الاشعاع وطرق انتاج النظير (ودراسات مقارنة) هذا بالاضافة إلى مجالات تطبيقات النظائر والأخطار والسلامة والانتاج والتأثير الممكن على خطط التطوير.

٤ - معجلات الجسيمات: الأنواع المختلفة لمعجلات الجسيمات (معجلات التيار وحيد الاتجاه، المعجلات الدورية والمعجلات الخطية) والتطورات التي أعطت مئات من البلايين من الفولت الالكتروني، كذلك الدور البارز الذي تلعبه في البحوث وبوجه خاص في فيزياء جسيمات الطاقة العالية بالاضافة إلى استخدامات المعجلات والدراسات المقارنة (وتقوم

على النقاط المشار إليها في القسم السابق) ودور المعجلات في مجالات أخرى للطاقة النووية.

٥ ـ بلازما الفيزياء والاندماج النووي الحراري: النظم والطرق لانتاج وحصار البلازما الساخنة، ودراسات مقارنة بين أنظمة مختلفة والاندماج النووي الموجه ومساهمته الفعالة في الاحتياجات المستقبلية للطاقة النووية، بالاضافة إلى ذلك دراسات لنظم مفاعلات الاندماج المقترحة واحتمالات ضغط أشعة الليزر بوصفها أساساً لمفاعل الاندماج، وجهد الحصار المغنطيسي كأساس أيضاً لمفاعل الاندماج والتقدم الذي أحرز في تقييم المشاكل التقنية لمفاعلات الاندماج.

٦ ـ الاستخدامات السلمية للتفجيرات النووية: التفجيرات المحصورة contained (تقييم وتحليل لاستخدامات هذه التفجيرات)، التفجيرات الحفرية (تقييم وتحليل لتطبيقات تلك التفجيرات)، والوضع الحالي للتقنية وما يتضمنه من مخاطر وسلامة وحماية بالاضافة إلى الدراسات المقارنة للتفجيرات غير النووية والطرق التقليدية.

ولقد قدمت هذه المجالات الستة من الدراسات إلى العلماء الذين ساهموا في برنامج الدراسة. إلا أن ذلك لم يكن سوى خطاً تصورياً، هذا وقد توصل العلماء، كل في مجال اختصاصه، إلى انجاز الدراسات التي يستعرضها المجلد المعني.

محمد عزت عبد العزيز
رئيس فريق التقنية النووية
معهد الإنماء العربي

ملخصات

٢ - ١ بحوث الاندماج النووي

(ملخص)

اتش . ب . بودين .

يستعرض المؤلف في هذا التقرير الوضع الراهن لبحوث الاندماج النووي ثم يتناول باختصار التطورات المستقبلية في هذا المجال . يلي ذلك تحليل للعوامل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار في تحديد استراتيجية الاندماج وخاصة في الدول النامية ومن ثم مناقشة موجزة للبرامج التي يمكن أن تختارها الدول العربية .

إن المبدأ الأساسي للاندماج النووي هو تصعيد التسخين لمخلوط من عنصرين خفيفين ـ عادة الديتيريوم والتريتيوم ـ إلى درجات حرارة غاية في الارتفاع « ر »، ومحاصرة الغاز الساخن المؤين كلياً ـ والذي يسمى البلازما ، لزمن يكفي لحدوث تفاعلات الاندماج النووي لتحرير طاقة نافعة . أما المعايير لحدوث مكسب صافٍ للطاقة والتي تسمى معايير لوسون فهي ر $\geqslant$ ١٠^٨ درجة مطلقة (١٠ ك . إ . ف .) والكثافة (ث) × الزمن ن لم تصبح ث ن $\geqslant$ ١٠^١٤ سم^-٣ ثانية . والاندماج النووي من حيث المبدأ مصدر لا ينضب للطاقة ، يمكنه سد حاجات البشرية ، فالاندماج برنامج طويل الأمد ويلزمه قرابة العشرين عاماً من البحث المكثف حتى يتحقق مكسب صافٍ للطاقة . ومع ذلك ، فالتقدم يمضي بثبات في تحقيق هذا الهدف خاصة في الأعوام القليلة الماضية .

على أن المشكلة الرئيسية هي محاصرة الغاز الساخن بمنأى عن مادة جدار الوعاء. ويتم ذلك عن طريق المحاصرة المغناطيسية التي يستخدم فيها مجال مغناطيسي قوي قادر على التزويد بالعزل الحراري، أو الحصار بالقصور الذاتي الذي تسخن فيه حبة صغيرة من الوقود بسرعة فائقة بحزم من ضوء الليزر أو الجسيمات المشحونة بحيث تحدث التفاعلات قبل أن يتاح للحبة وقت لتهرب بعيداً. ويستعرض البحث المحاصرة المغناطيسية مع التركيز على المحاصرة في المنظومات الحلقية وذكر الأعمال التي أنجزت في الهندسة الخطية. وفي المنظومات الحلقية الأكثر مأملاً والتي تعرف بالتوكاماك، تم الحصول على متغيرات تقارب تلك المحتاجة في مفاعل الاندماج مع درجات حرارة قصوى تصل حتى ٦ ك. إ. ف. في البلازما التي تسخن عن طريق الحقن بأحزمة قوية لذرات متعادلة، وتم التوصل أيضاً إلى مدلولات منتج لوسون تزيد على $١٠^{١٣}$ ثانية سم$^{-٣}$ بدرجات حرارة منخفضة. ويلاحظ أيضاً انبعاث النيوترون الحرنووي. أما عمر البلازما الساخنة فيمتد إلى حوالي الثانية بالرغم من أن الوقت اللازم لحصر طاقة البلازما أقل بكثير. وتقام الآن تجارب متعددة وواسعة للتوكاماك مثل تورس الأوروبي المشترك (JET) بكلهام، يجري بناؤها ويقرر تشغيلها بين أوائل ومنتصف أعوام الثمانينات والتي يُرجى التوصل فيها إلى شروط للبلازما قريبة جداً من تلك المتوقعة من مفاعل. وقد يبرهن فيها على الحصول على مكسب صافٍ للطاقة. هذا ويجري تطوير الحصار بالقصور الذاتي حديثاً وهو في الوقت الحاضر أقل تقدماً بكثير. والتجارب التي أجريت على كبس وتسخين غاز $^{٢}_{١}$يد - $^{٣}_{١}$يد بواسطة أشعة ليزر قوية، والتي تحتويه كريات مجهرية زجاجية، بينت ضغوطاً للكثافة تصل إلى مائة ضعف ومسجلة كثافة نهائية تماثل $^{٢}_{١}$يد - $^{٣}_{١}$يد السائل ودرجات حرارة للايونات من بضع ك. أ. ف. يصاحبها انبعاث نيوتروني. كما وقد تم التوصل حديثاً إلى كثافات

عالية لجهاز جديد وكبير ويجري الآن تخطيط من أجل التوصل إلى ماكينات قد توفر كسباً صافياً للطاقة في أعوام الثمانينات لكنها تستخدم أشعة الليـزر التي تعتبر غير فعالة لتوليد قوة اقتصادية. إلا أن استخدام حزم الكهيربات المتعادلة القوية أو حزم الأيونات الثقيلة، وخاصة هذه الأخيرة تكون أفضل من حيث توليد قوة اقتصادية بواسطة كبس الكرية إلا إذا تم التوصل إلى تطوير ليزرات أكثر فعالية.

ويجري تقديم ومناقشة تصميمات المفـاعلات الحرنـوويـة المبنيـة على نظـم هندسية أخرى للحصار المغناطيسي والحصار بالقصور الذاتي. ومن الواضح الآن أن مفاعلات الاندماج معقدة ولذلك يتوقع بأن تكون تكلفة قدرة الاندماج مرتفعة. كما وينتظر حل العديد من المشاكل التقنية قبـل إمكـانيـة تقييم الاقتصاديات بطريقـة دقيقـة ومقـارنـة تكلفـة قـدرة الانـدمـاج مـع خيارات أخرى. وتكمن أكبر الشكوك في الوقت الحالي في فيزياء البلازما. ومن وجهة نظر بيئية، تبدو مفاعلات الاندماج جذابة. وبالمقارنة مع الانشطار نجد أن الخطورة البيولوجية النسبية للمواد المشعة المتولدة أقل بعشرات أو مئات الأضعاف وذلك بسبب عدم وجود نظائر مشعة طويلة الأجل، ويكون محتوى الطاقة الاجمالي في البلازما الساخنة قليلاً نسبياً لدرجة يستحيل معها أي تسرب عرضي كبير المدى للطاقة، وأي خطأ سوف يؤدي على الأرجح إلى اخماد سريع للتفاعل. كما ويحتوي المفـاعـل على كميـة كبيرة مـن غـاز التريتيوم الذي يكون مشعاً وبالتالي يتوجب تطوير وسائل للمعالجة ملائمة.

هذا ويتم استعراض ومناقشة موجزة لبحوث الاندماج في العقد القادم وما بعده بالاضافة إلى الاحتمالات المختلفة لتطوير مستقبلي لبحوث الاندماج على نطاق عالمي والتي تتراوح بين برنامج كامل النطاق مع موارد متزايدة وموجهة نحو تحقيق مفاعل الاندماج بأقرب وقت ممكن وبين الانخفاض في جهود العالم

مع استمرارية العمل كبرنامج بحوث علمي طويل الأجل. وبالمقارنة يبدو هذان الاثنان ملائمين إلا أنه في الوقت الحالي، يكمن الشك في ما يجب أن يلي التجارب الكبيرة في الاندماج المغناطيسي والقصوري والذي ينتظر أن يتم تشغيله خلال العقد القادم. وقد اقترحت مشاريع تطوير طويلة الأجل تتضمن تشغيل عملية اختبار تجريبي للمفاعل في أعوام التسعينات ويلي ذلك اختبار للمفاعل في أوائل القرن الحادي والعشرين. ولن يساهم الاندماج على الأرجح في الطاقة العالمية قبل منتصف القرن التالي.

وتُناقش العوامل التي تحدد استراتيجية الاندماج أولاً بشكل عام ثم بالنسبة للدول النامية. ومن أهم تلك العوامل، الاحتياج للاندماج والجدول الزمني لادخاله من حيث احتياجات الطاقة المستقبلية وموارد الطاقة البديلة مثل الانشطار وعلى الأخص النفط والطاقة الشمسية في الدول العربية. هذا ويجب استعراض التقدم في البرنامج العالمي وباستمرار كما ينبغي تحديد الأحداث الهامة لتقييم ترقبات الاندماج. ويتم اعطاء الأمثلة ومناقشتها فيما يختص بمعدل ودرجة التقدم لبرنامج جديد في دولةٍ تقرر اقتناء واحد منها.

ومن بين الاعتبارات الأخرى المتعلقة بهذا الموضوع في دولة نامية توفر الأشخاص العلميين المدربين وما إذا كان الاندماج هو الاختيار الصحيح لتقنية متقدمة جداً، من بين الموارد المتوفرة. هذا ويتطلب انجاز برنامج طويل الأجل مع تقدم الصناعة.

وفي القسم الأخير يعطي المؤلف آراءه حول خيارات (بدائل) للبرامج بالنسبة للدولة النامية. ومن ضمن الاختيارات المتعددة برنامج «البقاء على اتصال» أو معهد صغير للاندماج، كذلك مركز عربي مشترك أو بالتعاون مع دول خارج الدول العربية. والهدف من ذلك هو الاحاطة بالتطورات حتى

يصبح بالامكان تقييم التقدم وإمكانيات النجاح في أمكنة أخرى ، والحل الأفضل عن طرق تبادل العاملين وأيضاً لانجاز بحوث فعالة . كما أن هناك مجالاً كبيراً بالنسبة لهذا الأخير في معهد صغير للبحوث .

وفي الختام، يمكن الاشارة إلى أن الاندماج مجال للبحوث مثير للتحدي وهو أكبر مهمة تقنية هائلة باشرت بها القوة البشرية ، إلا أنها لم تُحل حتى الآن. ومع أن الامكانيات ضخمة إلا أن نتيجتها النهائية غير محددة بعد . بالتالي يجب أن يوضع نصب أعيننا اتخاذ أي قرار فيما إذا يتوجب نشر المصادر العلمية النادرة للبحوث والتطور بالاضافة إلى الأخذ في الاعتبار الاحتياج للاندماج وترجيح النجاح النهائي .



٢ ـ ٢ الطاقة النووية والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة

(ملخص)

ك . عفت .

يقدم التقرير عرضاً واسعاً ونظرة شاملة لمجال القوى النووية والمفاعلات النووية المستخدمة في محطات الطاقة النووية لتوليد الكهرباء . ويتضمن المجالات الرئيسية المتعلقة بالتخطيط وتطوير برامج القوى النووية خاصة في الدول النامية كما ويشمل عرضاً لوضع محطات الطاقة النووية العاملة في دول متعددة على أساس احصائيات متوفرة حتى منتصف عام ١٩٧٨ ، بالاضافة إلى التوقعات وخطط التطور المستقبلي للطاقة النووية في الدول النامية والدول المتقدمة الصناعية .وتقدم هذه البيانات وتحلل في الفصل الأول من التقرير كما يتم اعطاء المعلومات الضرورية الخلفية التي يرتكز على أساسها التصنيع والتخطيط لبرامج الطاقة .

أما الفصلان الثاني والثالث من التقرير فيستعرضان وصفاً تقنياً لأنواع مختلفة من نظم المفاعلات التي تم ثبات صلاحيتها والمتقدمة منها ودورات الوقود المتعددة المستخدمة في هذه النظم في الوقت الحالي ، أو التي تم تطويرها للمستقبل كالثوريوم ودورات الوقود المتوالدة السريعة .

في الفصل الرابع ، تناقش اقتصاديات الطاقة النووية ، وتعتبر الاحصائيات والمعلومات التي قدمت مؤشرات لتقييم اقتصاديات محطات الطاقة النووية فيما

يختص بمصادر الطاقة التقليدية الحرارية . ويخصص الفصل الخامس لمشاكل ادخال القوى النووية والمراحل المختلفة لجدوى الدراسات وبرنامج التخطيط وتنفيذ محطة معينة للقوى النووية .

أما الملحقات الثلاث فتتناول الجوانب الهامة المتعلقة بتطور القوى النووية ، أي الجوانب الدولية ، وأثر البيئة على المحطات النووية والقبول العام للقوى النووية كمصدر لتوليد الطاقة بالاضافة إلى مخطط تمهيدي موجز لتطبيقات بديلة للقوى النووية وفيما يلي ملخص قصير لنواحي متعددة يشملها التقرير.

١ ـ الطاقة النووية ـ تطورها ووضعها الراهن:

لقد زاد استهلاك العالم من الطاقة من ٣٣٠٠ م. ط. ف. م. (ما يعادل مليون طن فحم مكافىء) عام ١٩٥٥ إلى ٥٣٠٠ م. ط. ف. م. عام ١٩٦٥ بمعدل زيادة سنوية تبلغ في المتوسط ٥٪، وتشير التقديرات أنه سوف يصل إلى ١٠٠٠٠ م. ط. ف. م. في عام ١٩٨٠ وسوف يتضاعف تقريباً بحلول عام ٢٠٠٠ . وتقدر حصة الطاقة الكهربائية إلى اجمالي استهلاك الطاقة بما يتراوح من ٣٠ إلى ٣٥٪ كما أنها كانت تتزايد أيضاً بمعدل سنوي بلغ في المتوسط من ٦ إلى ٧٪ وأن معدل الطلب على الطاقة الكهربائية في الدول النامية سوف يكون أعلى بدون شك وذلك بسبب اتساع الفجوة بين معدل استهلاك الفرد للطاقة فيما بين الدول النامية والدول المتقدمة. ففي معظم الدول النامية يتراوح متوسط نصيب استهلاك الفرد من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ كيلو وات ساعة في السنة ويصل في النرويج إلى ١٤٥٠٠ ، والمتوسط بالنسبة لغرب أوروبا هو ٢٥٠٠ كيلو وات ساعة في السنة. وإن الحاجة الملحة للطاقة الكهربائية في الدول النامية ربما كانت العنصر الرئيسي الذي يعتمد عليه احراز تقدمها فالطاقة الكهربائية مطلوبة كأداة للانتاج ولزيادة كفاءة انتاج الطعام والتنمية

الصناعية ورفع مستوى المعيشة الاجتماعي في تلك الدول والذي ما زال متخلفاً بدرجة كبيرة عن المستوى في الدول الصناعية المتقدمة.

وقد احتلت الطاقة النووية مركزاً بارزاً خلال السنوات الماضية العديدة، بين موارد الطاقة الأخرى. كما أن الزيادة الضخمة في أسعار البترول عالمياً والتي بلغت أربعة أضعافها في نهاية عام ١٩٧٣ والنتائج التي ترتبت على ذلك فيما يتعلق بتكلفة الطاقة من المحطات الحرارية التقليدية، قد جذبت الاهتمام نحو محطات الطاقة النووية في كثير من الدول بوصفها مصدراً منافساً وحيوياً لانتاج الطاقة.

وقد تطورت القدرة المركبة للمحطات النووية من خمسة ميجاوات كهربي في عام ١٩٥٥ إلى ٣٤٠ ميجاوات كهربي في عام ١٩٥٨ وإلى ٣٣٠٠ ميجاوات كهربي في عام ١٩٦٤، وحتى عام ١٩٧١ لم يكن هناك إلا محطة نووية واحدة بقدرة كهربائية قدرها ٣٩٦ ميجاوات قد أنشئت في دولة نامية واحدة وهي الهند وذلك من إجمالي القدرة الكهربائية المركبة في عام ١٩٧١ والتي بلغت ٣٢٠٠٠ ميجاوات كهربي تقريباً. وباستثناءات قليلة فان معظم المحطات العاملة حتى عام ١٩٧١ كانت أحجامها تقل عن ٣٠٠ ميجاوات كهربي. والتطورات التي أعقبت ذلك بالنسبة للمحطات النووية وتطور مختلف أنواع نظم مفاعلات القوى قد رسخت التكنولوجيا لعدد من هذه الأنواع حتى بلغت حد المستويات التقليدية التي ثبتت صلاحيتها، كما أنها أدت إلى تصعيد أحجام المحطات إلى مستوى ١٠٠٠ ميجاوات كهربائي أو أكثر. وقد ازداد عدد المفاعلات التي تم تشغيلها حتى عام ١٩٧٨ إلى ٢١٥ مفاعل بلغ انتاجها الكهربائي الاجمالي حوالي ١٠٠٠٠٠ ميجاوات كهربائي في ٢١ دولة من بينها خمس دول نامية.

أما الحاجة إلى الطاقة النووية فلقد ازدادت بسبب أزمة الطاقة في عام ١٩٧٣ ، والضرورة إلى توفير الموارد التقليدية المحدودة في الوقود الحفري واحلال موارد بديلة عنها . فمن المعروف أن الاحتياطيات من الوقود الحفري والبترول والفحم والغاز محدودة . وإن تقديرات الموارد المتاحة لها كانت سبباً دائماً يدعو للاهتمام القَلِق المتزايد بشأن كفايتها في الوفاء بالمتطلبات المتزايدة للطاقة في المستقبل . بالاضافة إلى ذلك ، فإن هذه الأنواع من الوقود الحفري مطلوبة في شكل مواد خام لانتاج كثير من المنتجات الصناعية مثل صناعة البتروكيماويات ، كما أنه يمكن استغلالها بفعالية أكبر وبطريقة اقتصادية في مثل تلك الاستخدامات بدلاً من حرقها كوقود لانتاج الطاقة .

تتضمن المحطات النووية التي تم تشغيلها حالياً عدة محطات بأحجام وحدات تتراوح بين ١٥٠ و ٣٠٠ ميجاوات كهربائي أقيمت في المراحل المبكرة لنشأة وتطور المحطات النووية .بينما في الوقت الحاضر يبلغ الحد الأدنى لأحجام المحطات المتاحة على المستوى التجاري في الشركات الصناعية ٦٠٠ ميجاوات كهربائي . ويقوم الاتحاد السوفياتي بعرض مفاعلات من نوع الماء العادي المضغوط (PWR) بأحجام ٤٤٠ ميجاوات كهربائي والمعروف بـ « نوڤو ـ ڤورونز » ، إلا أن معظم المحطات التي أنشئت من هذا النوع تتكون من وحدتين توأمين ذات قدرة كهربائية تبلغ ٨٨٠ ميجاوات كهربائي . وبينما يعطي التحسن في الاقتصاديات ميزات اقتصادية أكبر باستخدام وحدات حجمها كبير ، فإن كثيراً من الدول النامية ما زالت عاجزة عن استخدام مثل هذه المحطات ذات الحجم الكبير وذلك بسبب القيود التي تفرضها نظم شبكات الكهرباء الأصغر ، والتي لا تستطيع أن تستوعب مثل هذه الوحدات ذات الأحجام الكبيرة .

هناك حوالي ٣٠٠٠٠٠ ميجاوات كهربائي من اجمالي طاقة المحطات

الجاري إنشاؤها والمخطط لها، والتي تمثل ٨٦٪ من مجموع القدرة الكهربائية المنتجة، تصدر عن مفاعلات الماء العادي التي تستخدم اليورانيوم المثرى بنسبة ضئيلة. كما أن القدرة الكهربائية الكلية لِنُظُم المفاعلات الأخرى المعتبرة ضمن مجموعة المفاعلات المتقدمة أو مجموعة المفاعلات التي ثبتت صلاحيتها جزئياً، تبلغ حوالي ٣٣٠٠٠٠ ميجاوات كهربائي تمثل فقط حوالي ١٠٪ من اجمالي القدرة الكهربائية المنتجة من المحطات النووية الجاري انشاؤها والمخطط لها. وبينما يوجد تقدم معقول وجيد يجري تحقيقه لتطوير الطاقة النووية في الدول النامية إلا أن هناك فجوة واسعة ما زالت قائمة فعلياً وذلك بسبب صعوبات قائمة ومختلفة وقيود سوف تتم مناقشتها في هذا التقرير.

يتأثر النمو المستقبلي للطاقة النووية بظروف مختلفة تتصل بعوامل اقتصادية واجتماعية وسياسية. فالمواقف العامة نحو الطاقة النووية وأثر الضغوط السياسية والاقتصادية، كان لها أثر ملموس على نمو الطاقة النووية في كثير من الدول. **لذلك كانت تخضع التقديرات والبيانات المنشورة عن التنبؤات المستقبلية للطاقة النووية دائماً للمراجعة المستمرة على ضوء التغير للعوامل والظروف المرتبطة بتلك التنبؤات والسائدة في وقت معين. إن العوامل المختلفة التي تؤثر على الخطط في المدى القصير وكذلك على التقديرات والتنبؤات المستقبلية الطويلة المدى لبرامج الطاقة النووية سوف تجري مناقشتها هنا باختصار وذلك لاظهار مدى التعديل على تلك البيانات المنشورة بشأن التقديرات المستقبلية للطاقة النووية ومدى الحدود المفروضة عليها. إن التقديرات والتنبؤات للقدرات من الطاقة النووية في المستقبل والتي تتوفر في البيانات المنشورة تظهر تنوعاً كبيراً كما أنها كانت تتغير بصفة مستمرة منذ السنوات المبكرة لتطور**

الطاقة النووية لا سيما خلال السنوات القليلة الماضية . وإذا فحصنا البيانات المعطاة خلال مختلف الفترات فاننا نجد قدراً كبيراً من عدم اليقين وعدم التماسك بين الطاقة النووية المقدرة عن سنة معينة والخطط الفعلية المنفذة .

تبلغ قدرة الطاقة النووية في البلاد المتقدمة صناعياً ما يزيد على ٩٧٪ من اجمالي القدرة الكهربائية المركبة للمحطات النووية العاملة في جميع أنحاء العالم . كما أن القدرة الصافية لمحطات الطاقة النووية التي تم تشغيلها في ١٦ دولة قد بلغت ما يزيد على ١٠٠٠٠٠ ميجاوات كهربائي ، وباضافة المحطات النووية البالغ قدراتها ٣١٧٠٠٠ ميجاوات كهربائي والتي يجري انشاؤها حالياً والمخطط لها زيادة القدرة المركبة للمحطات النووية إلى ٤١٧٠٠٠ ميجاوات كهربائي في ١٨ دولة من الدول المتقدمة صناعياً .

وبالرغم من الاهتمام الواضح والحاجة إلى الطاقة النووية في الدول النامية فان القدرة للمحطات النووية التي تم تشغيلها في الوقت الحاضر تبلغ فقط حوالي ٢٠٠٠ ميجاوات كهربائي وهي تمثل حوالي ٢٪ من اجمالي القدرة العالمية للمحطات النووية العاملة . إن خمس دول نامية فقط تملك محطات نووية تشتغل حالياً ، بينما هناك محطات نووية يجري انشاؤها أو صدرت أوامر لاقامتها أو مخطط لها في أحد عشر دولة ، والتي عندما يتم تنفيذها وتشغيلها ستصل القدرة المركبة للمحطات النووية في الدول النامية إلى حوالي ٢٨٠٠٠ ميجاوات كهربائي في منتصف الثمانينات .

ويتناول التقرير أيضاً التطور التاريخي الطارىء على الطاقة النووية ، والاحتياج للطاقة النووية بالاضافة إلى وضع الطاقة النووية الحالي والتنبؤات المستقبلية لها .

٢ ـ أنواع نظم مفاعلات الطاقة النووية:

سيتناول هذا التقرير الأنواع المختلفة لنظم مفاعلات القوى النووية التي تم تطويرها. كما سيتضمن وصفاً فنياً وبياناً لأهم الخصائص لكل من أنواع المفاعلات وكذلك مراجعة وتقيماً للوضع الراهن وخبرة التشغيل لكل منها في محطات الطاقة النووية.

يمكن تقسيم نظم مفاعلات القوى التي تم تطويرها واستخدامها في محطات القوى التجارية أو التي بلغت على الأقل مرحلة التشغيل التجريبي إلى ثلاث مجموعات رئيسية. المجموعة الأولى هي نظم المفاعلات التي اكتمل ثبوت صلاحيتها وتجربتها وتشمل أنواع المفاعلات التي أنشئت وتم تشغيلها في عدد من محطات القوى ذات النطاق الصناعي التام والتي تعمل وتنتج الطاقة بصورة مرضية. وتتضمن هذه المجموعة الأنواع الرئيسية التالية:

١ ـ مفاعلات الماء العادي المضغوط واليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (PWR)
٢ ـ مفاعلات الماء العادي المغلي واليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (BWR).
٣ ـ مفاعلات اليورانيوم الطبيعي والمبرد والمهدأ بالماء الثقيل (PHWR).
٤ ـ مفاعلات اليورانيوم الطبيعي المبرد بالغاز والمهدأ بالجرافيت (GCR).

وقد استخدمت الأنواع الأربعة السابقة بأجمعها على مستوى تجاري كبير في محطات الطاقة والتي تم تشغيلها لعدد من السنوات، إلا أن الأنواع الثلاثة الأولى فقط هي التي يمكن الحصول عليها حالياً من الشركات المنتجة بينما النوع الرابع لم يعد متاحاً على النطاق التجاري.

المجموعة الثانية هي نظم المفاعلات التي ثبتت صلاحيتها وتجربتها جزئياً، وتشمل أنواع المفاعلات التي تملك على الأقل مفاعلاً نموذجياً واحداً، حجمه متوسط أو كبير ويعمل حالياً، والتي تكمن فيها إمكانية إحراز مزيد من التطوير للاستخدام في المحطات التجارية. وتتضمن هذه المجموعة الأنواع الرئيسية التالية:

١ ـ المفاعلات الغازية المتقدمة (AGR).

٢ ـ مفاعلات درجة الحرارة العاليـة والمبردة غـازيـاً والمهـدأة بـالجرافيـت (HTGR) .

٣ ـ المفاعلات السريعة المتوالدة (FBR) .

٤ ـ المفاعلات المبردة بالماء العادي والمهدأة بالجرافيت (LWGR)

وقد أنشئت الأنواع الأربعة السابقة إما على نطاق تجريبي نموذجي أو لمحطات تجارية على نطاق محدود بحيث لا يمكن حالياً اعتبارها ضمن مجموعة المفاعلات الكاملة الصلاحية والتجربة . ورغم أن التصميم والتقنية لجميع تلك الأنواع قد تم تطويرها بدرجة كافية ، وثبت نجاحها في انتاج الطاقة إلا أنها ما زالت تحتاج للمزيد من التطوير في التكنولوجيا وتحسين الاقتصاديات لتصبح من الأنواع المتاحة على المستوى التجاري لانتاج الطاقة على نطاق كبير .

وتضم المجموعة الثالثـة كـافـة أنـواع المفـاعلات الأخـرى التي أنشئـت كمحطات تجريبية أو نموذجية ولكن تعتبر أعمال البحوث والتطوير التي أجريت عليها محدودة نسبياً ورغم أن نظريات تصميم المفاعل قد ثبت نجاحها إلا أن تقييمها على النطاق الكامل يتطلب الكثير من أعمال التطوير ويمكن أن تُدرج تحت هذه المجموعة أنواع المفاعلات التالية:

١ ـ المفاعلات المبردة بالماء العادي المغلي والمهدأة بالماء الثقيل (HWLWR) أو (SQNWR) .

٢ ـ المفاعلات المبردة غازياً والمهدأة بالماء الثقيل (HWGCR) .

٣ ـ المفاعلات المبردة بالصوديوم والمهدأة بالجرافيت (SGR) .

٤ ـ المفاعلات المبردة بالمواد العضوية (OMR)

٥ ـ مفاعل التحكم بازاحة الطيف (SSCR) .

وتشمل نظم المفاعلات الأخرى أو المفاهيم الأساسية للمفاعلات التي أشير إليها باختصار : تجارب المفاعلات المتجانسة التي تبيّن فشلها جميعاً ، بالإضافة إلى نظم مفاعلات الوقود المسيل أو العالق . ولا يتم حالياً أي عمل إضافي لتطوير تلك النظم والمفاهيم . كما أن فكرة استخدام الأملاح السائلة كمبردات

للمفاعلات ثبت أنها تسبب الصدأ بدرجة كبيرة. وهناك أيضاً فكرة المفاعلات التي تستخدم النيوترونات فوق الحرارية أو المتوسطة التي يظهر أنها لم تعط أية ميزات تبرر جدية تطورها.

٣ ـ دورات الوقود النووي:

يعطي التقرير وصفاً لمجموعة العمليات التي تمر بها المواد عند استعمالها كوقود للمفاعلات النووية، **والتي تتضمن وحدات لدورات الوقود النووي. ويمكن تقسيم عمليات دورة الوقود إلى مجموعتين رئيسيتين:**

المجموعة الأولى وتشمل عمليات الطرف الأمامي لدورة الوقود والتي تغطي كل العمليات التي تسبق اتمام الاشعاع للوقود في قلب المفاعل وكذلك تفريغها إلى وسائل التخزين وتشتمل على العمليات الرئيسية الثلاثة التالية:

أ ـ استخدام وطحن اليورانيوم.

ب ـ تحويل اليورانيوم إلى سادس فلوريد اليورانيوم ـ يوفل٦ (UF_6) والأثراء بالنظير «يو ـ ٢٣٥».

ج ـ تصنيع وحدات الوقود.

أما المجموعة الثانية فتشمل كل عمليات الطرف الخلفي لدورة الوقود وتغطي كل العمليات التي تلي نقل الوقود المشع من قلب المفاعل إلى وسائل التخزين وتشتمل على العمليات الرئيسية الثلاثة التالية:

د ـ تخزين الوقود المستنفد.

هـ ـ اعادة معالجة الوقود المحترق.

و ـ التخلص من الفضلات المشعة.

ويتم وصف العناصر المختلفة لدورة الوقود بايجاز في التقرير. ويتناول أيضاً دورات الوقود المستعملة في نظم المفاعلات «التامة الاثبات للصلاحية» أي دورة **الوقود لليورانيوم الطبيعي ودورة الوقود لليورانيوم المُثرى. كما يتم تقديم وتحليل النقاط والاختيارات الرئيسية لدورات الوقود للدول النامية والعوامل**

المتعددة المتعلقة باختبار اليورانيوم الطبيعي والمثرى بنسبة عالية. وتناقش أيضاً دورات الوقود المتقدمة المستخدمة في نظم المفاعلات التي في طور التطوير والتي تشمل دورات وقود الثوريوم والمفاعلات السريعة المتوالدة.

٤ ـ اقتصاديات القوى النووية:

أصبحت محطات القوى النووية الآن بديلاً منافساً من الناحية الاقتصادية للمحطات التي تستخدم البترول وغيره من أنواع الوقود الحفري، ولا بد أن ننوه هنا إلى أن اقتصاديات القوى النووية لا يمكن الحكم عليها في ضوء التحاليل الاقتصادية المستفيضة، وتقييم مشروعات محددة، وفي حالات خاصة وتحت ظروف تم تحديدها بدقة. وهذا التحديد على قدر كبير من الأهمية نظراً للتغيرات المتزايدة والسريعة في الظروف الاقتصادية والتزايد الضخم خلال السنوات الأخيرة لتكاليف رأس المال ودورات الوقود بالاضافة إلى تكاليف بناء المحطات النووية. ومن الضروري الاشارة هنا إلى أن البيانات والتحاليل الشاملة المتاحة والمنشورة عن اقتصاديات محطات القوى النووية تعتبر سارية فقط على الحالات المحددة التي طبقت عليها وفي خلال الفترة الزمنية التي أجريت عليها.

وعلى ذلك فان هذه البيانات والتحاليل تقتصر فائدتها على الاستعانة بها كمؤشرات اقتصادية ولا يجدر ترتيب أية قرارات أو أحكام نهائية عليها، ويتناول التقرير عوامل متعددة تؤثر على التحليل الاقتصادي وعلى نشأة ونمو القوى النووية.

وعلى ضوء البيانات المتوفرة لتكاليف رأس المال ودورات الوقود وغيرها من التكاليف، يتم استعراض مقارنة اقتصادية وتقييم للمحطات النووية ذات الاشتعال ـ النفطي (محطات الفحم).

وبالتالي وعلى ضوء هذه البيانات، يمكن الحكم على الوضع التنافسي للمحطات النووية. ويتضح أنه بالنظر إلى السعر الحالي للبترول، تملك المحطات

النووية ميزة اقتصادية مؤكدة على المحطات البترولية الثابتة . وليس من المحتمل أن ينخفض سعر البترول في المستقبل القريب. ومن هنا فان هذا الوضع التنافسي للمحطات النووية سوف يستمر، ولو أن قيمته الدقيقة لا يمكن تحديدها إلا بعد التحاليل المستفيضة للخصائص النوعية لكل حالة على حدة .

٥ ـ ادخال القوى النووية في الدول النامية:

بعد مرور حوالي ٢٥ عاماً وإلى نهاية عام ١٩٧٨ منذ تطوير القوى النووية واستخدامها في توليد الكهرباء ، كان عـدد الدول النـاميـة التي تمتلـك محطات نووية عاملة خمسـة فقـط . ويعـود ذلـك لعـدد كبير مـن المشـاكـل المختلفة والقيود التي تتعلّق بالنواحي الفنية والصناعية والتجارية والاقتصاديـة والمالية والسياسية والسمات الدولية لتنمية القوى النووية .

وعلى الرغم من هذه المشاكل والقيود فان الدول النامية ليس أمامها من بديل سوى زيادة اعتمادها على القوى النووية لسد احتياجاتها المتزايدة والملحة في الطاقة في المستقبل . ويُعزى ذلك في المقام الأول إلى التقديرات الأخيرة من أن الاحتياطي العالمي من البترول محدود السعـة ، ومـن أن أسعـار البترول سـوف تستمر في الارتفاع ؛ولعل القيد الأكبر الذي يمثل السبب الرئيسي في بطء أو تأخر دول كثيرة عن تحقيق المستهدف في خططها نحو إقامة المحطات النووية ، هو توفر التمويل الكبير اللازم لاقامة هذه المحطات ، حيث أن استثماراتها تصل إلى أكثر من ضعف الاستثمارات اللازمة لاقامة المحطات التقليدية . وهذه الحقيقة يمكن أن تمثل قيداً خطيراً على معدل زيادة السعة الكهربائية النووية في العالم ككل على وجه عام ، وعلى معدل ادخالها وتنميتها في الدول النامية على وجه خاص .

هناك عدد من الخطوات والمهام الضرورية التي يجب اتخاذها لصياغة وبدء برامج القوى النووية عند تنفيذ هذه البرامج بالنسبة للدول النامية التي تعتزم ادخال القوى النووية في نظم توليد الكهرباء لها .

وأولى هذه المهام الضرورية هي الدراسات التخطيطية لاثبات الحاجة إلى

القوى النووية وتحديد مدى البرنامج المطلوب. وتشتمل هذه الدراسة على الاحتياجات البعيدة المدى للطاقة وما يمكن أن تقدمه الموارد الوطنية نحو سد هذه الاحتياجات. على أن تقييم دور القوى النووية في البرامج التي تستهدف سد الاحتياجات البعيدة المدى للطاقة سوف يعتمد في المقام الأول على الدراسات التفصيلية المقارنة لبدائل اختيارات الطاقة، وللمزايا الاقتصادية للخطط المختلفة لتنمية نظم مصادر الطاقة. ولا بد أن تشتمل هذه الدراسات، بالاضافة إلى المنافسة الاقتصادية للقوى النووية مع البدائل الأخرى لأنظمة الطاقة، على عدد من العوامل والاعتبارات، منها حجم ووقت التشغيل للمحطة النووية والوقت اللازم لتنميتها وإنشائها وتشغيلها وملاءمة أحجام المحطات على النطاق التجاري كي يتسنى دمجها مع الحجم الكائن لنظام الشبكة الكهربائية.

فالتكاليف المستقبلية للمحطات والتزويد بمتطلباتها للوقود بالاضافة إلى تأمين تزويد الوقود واستمراريته،جميعها عناصر مهمة يجدر أخذها بعين الاعتبار في مرحلة التخطيط لبرنامج القوى النووية.

ويتناول التقرير العناصر المهمة التي يجب أن تؤخذ في بالاعتبار في التخطيط لبرنامج القوى النووية في دولة نامية والمراحل والخطوات التي يجب اتباعها عند البدء بالعمل وتنفيذ مشروع أول محطة نووية بالاضافة إلى المتطلبات القانونية والعادية.

٦ - السمات الدولية للقوى النووية:

لقد كانت العلاقة بين تنمية القوى النووية لامداد العالم باحتياجاته العاجلة من الطاقة، وما يصاحب ذلك من انتشار التقنية النووية والمواد النووية التي يمكن استخدامها لانتاج الأسلحة النووية، محوراً للجدل والمناقشة على أوسع وأشد نطاق خلال السنوات القليلة الماضية.

وقد تضمن هذا الجدل عدداً كبيراً من القضايا والمشاكل المعقدة التي عمقت من هذا القلق بشأن مستقبل القوى النووية سواء عند الدول المتقدمة أو الدول

النامية التي تحتاج احتياجاً كبيراً إلى القوى النووية وقد كانت القضية الرئيسية وراء هذا القلق هو حقيقة أن الانشطار النووي سواء كان في مفاعلات صغيرة للأبحاث أو في مفاعلات كبيرة لانتاج القوى النووية، يستخدم اليورانيوم ـ ٢٣٥ الانشطاري وتنتج البلوتونيوم ـ ٢٣٩ وهي مادة انشطارية كذلك. وهاتان المادتان يمكن استخدامها لصناعة مفجر نووي، كما يمكن استخدامها لانتاج الطاقة،وجميع المفاعلات التي تستخدم سواء اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المزود، تنتج البلوتونيوم ـ ٢٣٩ كناتج ثانوي. وهذه الأنواع من المفاعلات هي التي تستخدم في كل محطات القوى العاملة حالياً. ولا تمثل هذه المفاعلات في حد ذاتها مخاطرة كبيرة من حيث حيازة الأسلحة النووية، إذ يختلط البلوتونيوم المنتج فيها داخل أعمدة عناصر الوقود المحترق بنواتج انشطارية ذات نشاط اشعاعي عالٍ .ويحتاج استخدام البلوتونيوم في الأسلحة النووية إلى فصله عن أعمدة الوقود المحترق قبل التمكن من استخدامه للأسلحة النووية. ومن هنا فان منشآت معالجة الوقود المحترق، تعتبر العنصر الأساسي نحو حيازة الأسلحة النووية لأية دولة. ويتناول الملحق الأول «أ» من التقرير السمات الدولية الخاصة بتنمية القوى النووية ومثال لذلك الضمانات، وحظر انتشار الأسلحة النووية NPT والحماية المادية بالاضافة إلى المراكز الاقليمية لدورات الوقود النووي.

٧ ـ الآثار البيئية لمحطات القوى النووية:

إن توليد الكهرباء سواء من المحطات النووية أو محطات الوقود العادي له آثار بيئية على الهواء والأرض والماء والأجواء، حتى مع الالتزام بكل معايير التشغيل السليمة. ومن أهم أهداف التصميم للمحطات النووية وغيرها من المنشآت النووية الاقلال إلى الحد الأدنى للآثار المحتملة والمختلفة للعادم من هذه المحطات على البيئة المحيطة بها. وتشتمل المصادر الكامنة لاطلاق النفايات على البيئة، من تشغيل المحطات النووية، على وجه الخصوص على الغازات أو السوائل المشعة، والحرارة الناجمة عن البخار والنفايات الكيميائية من أنظمة

لمحطة النووية . ويخضع اطلاق النفايات من المحطات النووية لرقابة صارمة سواء من ناحية معالجة الغازات أو السوائل المشعة أو الرصد المستمر لاشعاعيتها قبل اطلاقها إلى البيئة المحيطة للتأكد من عدم تجاوز المستويات الاشعاعية المسموح بها . ولذلك من أهم القضايا التي تؤثر على التنمية المستقبلية للقوى النووية هي القلق المتزايد من المخاطر المتصلة باستخدام القوى النووية لانتاج الطـاقـة . ومقـاومـة الرأي لا تقـوم على التفهـم العميـق للحـوار العلمـي والتكنولوجي ، ولا على حقائق احتياجاتنا للطاقة والبدائل المتاحة لمقابلة هذه الاحتياجات المتزايدة والعاجلة ، بل تستغل الاثارة العاطفية على نطاق واسع لتوجيه الرأي العام لمقاومة هذا المصدر الحيـوي والضروري للطـاقـة . وقـد تطورت معارضة القـوى النـوويـة إلى الحد الذي أصبحـت معـه تـؤثـر على القرارات السياسية والحكومية ، بل أنها نجحت في النمسا في ايقاف محطة نووية كبيرة ، تم الانتهاء من انشائها وأصبحت معدة للتشغيل ، وبعد أن انفق عليها استثمارات تصل إلى بليون من الدولارات . وتهاجَم مشروعات القوى النووية في الولايات المتحدة وسويسرا والسويد وغيرها من الدول ، وتنظم مظاهرات معادية لها ، ويدعى استفتاء عام لاتخاذ القرار بشأنها . ويتناول الملحق « ب » من هذا التقرير الآثار الصحية والأمنية والبيئية للقوى النووية بما في ذلك قبول الرأي العام .

٨ ـ الاستخدامات البديلة للطاقة النووية:

توجد بعض التطبيقـات الممكنـة الأخـرى للقـوى النـوويـة في مجالات استخـدام الطـاقـة عنـد درجـات الحرارة المنخفضـة أو في تسيير البـواخـر والغواصات . ولم تتحقق بعد توقعات الستينات من الاستخدام الواسع للطاقة عند درجات الحرارة المنخفضة من المحطات النووية وحيدة الغرض (حرارة فقط) أو مزدوجة الغرض (حرارة وكهرباء) ، في مجالات انتاج الحرارة أو انتاج الماء العذب بطرق إزالة الملوحة .

وعلى الرغم من دراسات الجدوى الاقتصادية والفنية الشاملة التي أجريت على

بعض المشروعات المحددة لازالة الملوحة أو لانتاج الحرارة، إلا أنه لم يتم تنفيذ سوى عدد صغير من هذه المشروعات. يُعنى هذا الملحق « ج » بعرض لما تم في مجالات استخدام الطاقة النووية في البدائل السابق الاشارة إليها.

٢ - ٣ معجلات الجسيمات

(ملخص)

محمد عزت عبدالعزيز

تقدم هذه الدراسة عرضاً لأهمية معجلات الجسيمات وتتناول جوانبها المختلفة . وتبدأ بعرض للتقدم التقني الذي أحـرز لتـوه مـع كـل نـوع مـن المعجلات ، كما يؤخذ في الاعتبار التطبيقات العديدة في الاستخدامات العلمية وغيرها ، ويلي ذلك الجوانب المتعلقة بالأمان والبيئة بالاضـافـة إلى الجوانـب الاقتصادية والاستراتيجية وأخيراً احتياجات الدول النامية .

يستعرض الفصل الأول دراسة مسح شاملة لمختلف أنواع المعجلات من حيث تتبعها للتطـور التـاريخي على التـوالي كلما تـرتفـع الطـاقـة مـع نشـأة الاختراعات والمبادىء الحديثة . كما يتناول الفصل أيضاً مناقشة العوامل التي تحد من ازدياد الطاقة لكل نوع من المعجلات .

ابتداء بمعجلات التيار الوحيد الاتجاه ، فان مولد الكـوكـروفـت والتـون المتعاقب هو الماكينة ذات الطاقة الأكثر انخفاضاً ويستخدم بشكل واسع في أكثر التطبيقات ذات الطاقة المنخفضة . كما يستغل مبدأ مضاعفة الفلطية بحيث يقوم محول للفلطية المرتفعة بشحن مجموعة مكثفات على التوازي ، بينما تعمل مجموعة من مقومات التيـار ذات الصمامـات بتفـريغهـا على التـوالي . وتشمـل التطورات التي أثمرت ماكينة ذات حجم معقول :

أ - استخدام التردد العالي لمنتج الطاقة .

ب - استبدال صمامات تفريغ المقدمات ومقومات سيلينيوم بمقومات سيليكون لقدرة عالية وحجم أصغر.

ج - استخدام مفاعلات معوضية متماثلة ذات نوعية عالية في المولد المتعاقب للحماية، مقابل فلطيات قصيرة الاقامة.

د - استخدام غاز الضغط الذي تكون له أعلى قوة لفلطية الانهيار.

والحد من ارتفاع الفلطية في المولد المتعاقب يعود إلى اعتبارات هندسية واقتصادية.

أما معجل التيار الوحيد الاتجاه الآخر فهو معجل فان دي جراف الالكتروستاتي الذي تم اختراعه سنة ١٩٢٨، تقريباً في نفس الوقت الذي أنشيء فيه معجل كوكروفت والتن. ويرتكز على نثر الشحنة على سير عازل متحرك ذات جهد أرضي، ثم تحمل الشحنة إلى قطب نصف كروي في جهد مرتفع والذي يحتاج إليه لتعجيل الأيونات المستخلصة من مصدر الأيونات والتي تحتويها أقطاب للفلطية العالية فوق أنبوبة التعجيل. وبعد تطورات تقنية عديدة أنشيء الفان دي جراف من أجل تزويد طاقة يتراوح مداها ما بين ٢ - ٦ م. إ. ف. على الرغم من ذلك، فإن الطاقة القصوى لـ ١٢ م. إ. ف. قد حققت في الفان دي جراف الفردي المرحلة، في معهد ماساشوسيت للتكنولوجيا (MIT)، وفي ماكينة مماثلة في لوس ألاموس بالولايات المتحدة. وأي ازدياد اضافي في الطاقة قد تحدده اعتبارات هندسية واقتصادية. وبسبب الاستقرار العالي لطاقة الحزم، فإن الاهتمام المتواصل في المولدات الإلاكتروستاتية ذات طاقة مرتفعة أكثر، أدى إلى تطوير الترادفية الفردية المرحلة للفان دي جراف، وهنا يمكن استغلال جهد الطرف بضع مرات في تعاقب للحصول على طاقات خارجة أكثر عدة مرات من المتحصل عليها من معجل ذي مرحلة واحدة. ويتحقق ذلك بأن تُعكس شحنة الأيونات المعجلة

والحصول على القطبية الملائمة في الطرف المطابق في الفلطية العالية. علاوة على ذلك ومع مصادر الأيونات المتضاعفة الشحنة، فإن طاقة حزم عالية أكثر يمكن الحصول عليها أيضاً.

ومن الصعوبات التي تحد من ازدياد الفلطية في معجلات فان دي جراف: ١) المشاكل المتعلقة بفلطية الانهيار والتي تعود أسبابها إلى الغاز العازل وتشكيل الأقطاب. ٢) قفز الوميض على طول العوازل. ٣) عطل السير الشاحن بسبب الافتقار إلى القوة الميكانيكية وفلطية الانهيار. ٤) مشاكل خطيرة تواجه أنابيب التعجيل. وفي المعجل البيليترون الألكتروستاتي، تم إزالة أكثرية هذه المشاكل وذلك عن طريق استبدال السير بسلسلة مخددة من كريات من الصلب حيث تتم عمليات الشحن والتفريغ بالحث عندما تمر الكريات فوق البكرات، وتصنع أنبوبة التعجيل من أقسام صغيرة (وحدات) تبنى من المعدن والسيراميك ومن بعض مقومات لتصميمات أخرى تجعل بالامكان تصميم بيليترون بطرف فلطية قدرها ٢٠ م. ف. في معجل ذي مرحلتين يعطي بروتونات طاقتها ٤٠ م. إ. ف. ويتم تعجيل الأيونات الثقيلة ذات أعداد عالية للشحن إلى قيم أعلى بكثير. والبيليترون الترادفي المطوي هو ماكينة مقتصدة الحيز وطاقتها القصوى تبلغ ٥٠ م. إ. ف. للبروتونات ويمكن أن تصل إلى مئات من الملايين من الالكترون فولت لبعض الأيونات الثقيلة.

وتستهل معالجة المعجلات الحلقية بالسيكلوترون. ومبدأ تشغيلها يعتمد على التزامن بين تردد دوران الأيونات التي تحقن من مصدر الأيونات في وسط قطبين مجوفين نصف دائريين في غرفة التفريغ، وتردد جهد تعجيل التيار المتردد التي يتم تطبيقها على أقطاب تحت تأثير مجال مغنطيسي عمودي مج م. بذلك تكتسب الأيونات طاقة مماثلة لقمة مجال التيار المتردد في كل مرة تعبر فيها الفجوة بين الأقطاب في حركتها الدائرية حتى تصل إلى محيط الدائرة مع الطاقة النهائية.

وينتج تقييد الطاقة للسيكلوترونات التقليدية عن تعطيل التزامن، حيث أن تردد الدوران د = $\frac{\text{ش}_{\text{أ}} \cdot \text{مج م}}{\text{٢ ط ك}}$. قد ينخفض كلما تزداد الطاقة نتيجة للأمرين الآتيين:

١ ـ انخفاض الميل القطري السالب مج م (B) (الذي يلزم لتركيز حزمة الأيونات).

٢ ـ الزيادة النسبية للكتلة ك.

والطاقة القصوى التي تم تحقيقها بالنسبة للبروتونات في سيكلوترون عادي هي ٢٥ م.إ. ف. وأية محاولة لتخطي هذا الحد يجب أن تفي بهذين الطلبين المتناقضين: (أ) على مج م أن تزداد مع الزيادة النسبية للكتلة ك للحفاظ على د (تردد الدوران) ثابتة. (ب) يلزم أن تنخفض مج م مع (R) للحفاظ على تركيز الحزم.

واقتراح توماس قد وفى بهذه المتطلبات المتناقضة باستخدام مناطق عالية ومنخفضة من المجال المغنطيسي حول المدار المتوصل إليه مع مقاطع قطرية من الحديد مثبتة إلى قطع الأقطاب، وبذلك تعطي سيكلوترون المجال المتغير زاوياً (م م ز).

والتطور الآخر هو تصميم سيكلوترون متزامن لـــه ضلوع لولبية على أوجه القطب، وله فوائد على مقاطع توماس القطرية. بالتالي انبثق تطوير فصيلة بأكملها من السيكلوترونات وتعرف بالجمعة بالقطاعات وذات القطب المشطور والقطاعات المنفصلة والسيكلوترونات الحلقية. لذلك كان بالامكان تزايد دورة التشغيل وكثافة الحزم والطاقة القصوى (إلى مئات من م.إ. ف.). وتطوير آخر حديث أيضاً هو استخدام المغنطيسات المفرطة الموصلية

في السيكلوترون المتزامن وبذلك تزيد من ارتفاع الطاقة (مج م تزداد بكثرة) وتخفيض حجم وقدرة الاستهلاك بدرجة عالية.

أما في السينكروسيكلوترون، فتعاد ظروف التزامن عن طريق التردد المعدل، وبالتالي يتغير مجال التعجيل ليلائم الانخفاض في تردد الدوران للأيونات نتيجة للزيادة النسبية للكتلة النسبية ك. وتسرع مجموعة من الأيونات حتى تصل إلى الطاقة المطلوبة في كل اندفاع للتردد وينتج عنها تعاقب انطلاقة كالذي يحصل في تردد التعديل. وينخفض كل من متوسط الأيونات الخارجة ودورة التشغيل بدرجة عالية.

يماثل السينكروسيكلوترون في تركيبه السيكلوترون باستثناء حجم المغناطيس الذي يكون أضخم بكثير. على أن الحد من طاقة السينكروسيكلوترون سببها تزايد الوزن والتكلفة اللذان يرتفعان تقريباً مع مكعب قطر القطب، والطاقة القصوى التي يمكن التوصل إليها في هذا المجال تبلغ حوالي ٧٢٠ م. إ. ف.

إن الخطوة الهامة التي اتخذت من أجل إزالة تلك القيود كانت باستخدام مغناطيسات حلقية الشكل ونصف قطر ثابت المدار في السينكروترون بعد اكتشاف مبدأ استقرارية الطور عام ١٩٤٤. ويقرّ بايجاز على أن الجسيمات ذات الطور الخفيف أو ذات أخطاء للطاقة تستمر في تعجيلها مع ذبذبات ضئيلة في الطاقة والطور حول الطاقة الصحيحة وطور التوازن. وتؤدي الجسيمات ذروة الذبذبات في كل من الاتجاهات القطرية والرأسية حول المستوى المتوسط. وبالتالي ينتج عنها تركيز للجسيمات. كما أن ذبذبات الطور أيضاً تقيد الجسيمات في جوار ذروة فلطية التعجيل. فبناء عليه يتألف سينكروترون البروتونات في الأساس من معجل حاقن لانتاج حزمة محددة ومن مغناطيس

حلقي الشكل يمكن تنبيض مجاله المغناطيسي من قيمة ضئيلة جداً (التي تلزم للحقن) إلى عدة كيلوجاوس في زمن قصير، وانتاج فلطية تردد الراديو لفجوة رنانة بتردد يُحفظ في تزامن مع تردد دوران الجسيمات، وهكذا كلما بدأت مج م بالازدياد، تحقن البروتونات عندما تصل مج م إلى القيمة التي تكون فيها البروتونات قادرة على الدوران حول الماكينة (م ف = مج م أ نق)، فعندما يبدأ نصف القطر نق بالتقلص، يصبح بمقدور البروتونات دخول الفجوة الرنانة والحصول على طاقة مما يؤدي إلى ازدياد نق. ومن خلال تعديل الفلطية والتردد بدقة، يمكن الحفاظ على موضع مدار الجسيمات ثابتاً كلما تزداد مج م والطاقة معاً. بالتالي تلزم طاقة البروتونات مع مج م حتى تصل مج م، إلى قيمتها القصوى.

وأخيراً يتم استخلاص بروتونات الطاقة العالية من السينكروترون أو بتوجيهها نحو هدف ضمن الحلقة لانتاج جسيمات ثانوية. وتختلف أنواع السينكروترونات من حيث أن تركيز حزمة الأشعة الدوارة ينشأ عن ذبذبات الجسيمات. ففي السينكروترون ذات التركيز الضعيف يكون تردد الذبذبات القطرية والمحورية منخفضاً وتكون قيمة ذروة الذبذبات كبيرة. بالتالي يجب أن تكون غرفة التفريغ وحجم الماكينة كبيرين ويؤدي ذلك إلى تكاليف مرتفعة. وعلى العكس تستخدم السينكروترونات ذات التركيز القوي والتي تدعى السينكروترونات المتغيرة الميل س م م (AGS) ترددات كبيرة وذروة أقل للذبذبات، علاوة على ذلك يكون الحجم والكلفة أقل. ومثال على ذلك السينكروترون المتغير الميل (AGS) ذات التركيز القوي في بروكهافن في الولايات المتحدة الأميركية ويعطي طاقة ذات قدرة ٣٠ ب. إ. ف. ووزناً مغناطيسياً يبلغ ٤٠٠٠ طن بينما تبلغ طاقة البيفاترون ذات التركيز الضعيف ٦٠٢ ب. إ. ف. في حين أن وزن المغناطيسي ١٠٠٠ طن.

والسينكروترون ميل الصفر (ZGS) س م ص هو نوع آخر والذي يكون فيه المجال المغنطيسي متماثلاً ($\frac{\text{ء مج}}{\text{ء نق}}$ = صفر) مما يسهل تصميم المغنطيس ويجعله فعالاً ويمكن التوصل إلى قيم عالية من مج م، أي يكون الحجم صغيراً (نق) والتكلفة أقل. مقارنةً مع السينكروترون المتغير الميل (AGS) الذي يسمح بالحقن لدورة واحدة فقط، تحقن ١٠٠ دورة للجسيمات في السينكروترون ميل الصفر، وذلك بسبب غرفة التفريغ الأوسع. إنها ماكينة ذات كثافة عالية تنتج $١٠^{١٣}$ من البروتونات لكل نبضة بطاقة قدرها ١٢,٥ ب. إ. ف.

دون أي تقييد لتزايد الطاقة في السينكروترون، صار بالامكان انشاء معجل بطاقة عالية تبلغ ٥٠٠ ب. إ. ف. في فيرميلاب (Fermilab) بالولايات المتحدة والذي تم تشغيله عام ١٩٧٢، ومعجل بطاقة ٤٠٠ ب. إ. ف. في سيرن بسويسرا. هاتان المحطتان الذريتان في الأساس متماثلتان، إلا أن هناك بعض الاختلافات في جهاز الحقن الخاص بهما. فمعجل فيرميلاب يتكون من أربعة معجلات على التوالي:

المعجل المسبق بطاقة ٧٥٠ ك. إ. ف. ويحقن حزمته إلى معجل خطي ٢٠٠ م. إ. ف.، بطول يبلغ ١٧٥ متراً والذي بدوره يحقن الحزمة في سينكروترون الميل المتغير (AGS) بطاقة ٨ ب. إ. ف. بنصف قطر يبلغ ٧٥ متر. ويتلقى الحزمة ذات الطاقة ٨ ب. إ. ف. سينكروترون الحلقة الأساسية والتي يبلغ قطرها ٢ كلم لتعطي حزمة بطاقة ٥٠٠ ب. إ. ف. والتي تبلغ كثافتها ٢,٥ X $١٠^{١٣}$ بروتون/لكل نبضة.

ومع تلك الماكينات، نتج عن البحوث في فيزياء الجسيمات الأولية والتحت النووية اكتشافات مثيرة لجسيمات حديثة، وصياغة نظريات حديثة تهدف في الأساس إلى معرفة أوسع لعالمنا هذا. كما أنه تم انجاز النوع العملي للبحوث على

معجل فيرميلاب الخطي ذى **الطاقة ٢٠٠ م. إ. ف. كعلاج السرطان (بطاقة ٦٦ م. إ. ف.) والتصوير الاشعاعي للبروتونات (بطاقة ٢٠٠ م. إ. ف) .**

وبعد ذلك يجري وصف للتقنيات الحديثة التي أدخلت من أجل ازدياد الطاقة لتلك المعجلات الضخمة. مثال على ذلك، إن مضاعف/مقتصد الطاقة ED/S هو حلقة في نفس النفق مع حلقة فيرميلاب ذات الطاقة ٥٠٠ ب. إ. ف. إلا أنه يستخدم مغناطيسات مفرطة الموصلية من أجل تزايد أعلى لـ مج م، وتخفيض حجم غرفة التفريغ باقتصاد كبير في قدرة المغناطيس. وتحقن حزمة بطاقة ٥٠٠ ب. إ. ف. في حلقة الطاقة المضاعفة/المقتصدة من أجل تزايد الطاقة في النهاية إلى ١٠٠٠ ب. إ. ف. والتقارب بين حزم المعجلين في نفس النفق تجعل امكانية تصادم حزم الأشعة الأيونية امكانية مثيرة للاهتمام.

الوسيلة الثانية والتي تؤدي إلى تزايد للطاقة بشكل كبير **هي حزم الأشعة** الأيونية المتصادمة. ففي المعجلات ذات الهدف الثابت تكون طاقة مركز الكتلة طا ≅ $\sqrt{١,٨٨}$طام بينما تبلغ طا=٢ طام لحزم الأشعة الأيونية (طام هي طاقة **المختبر لكل من البروتونات في تصادم على الرأس) . والتطوير الحديث في هذا الاتجاه هو مشروع بوباي POPAE الذي يهدف إلى بناء ماكينة تتكون من ١٠٠٠ ب. إ. ف. على حزم أشعة بروتون - بروتون لتعطي طاقة مركز** الكتلة تبلغ ٢٠٠٠ ب. إ. ف. والتي بدورها تتطلب معجلاً ذا هدف ثابت، تبلغ طاقة حزم أيوناته أكثر من ٢ X ١٠^{٦} ب. إ. ف.

يعالج **الفصل الأول** نوعين للمعجلات الخطية. الأول هو معجل سلـون **ولورنس الخطي الذي تعجَّل فيه الجسيمات من خلال مجال تردد الراديو والذي يطبق حول فجوات سلسلة من أنابيب التدفق المتحددة المحور والتي تخفي الجسيمات عندما يأخذ اتجاه المجال وضعاً مبطئاً بدلاً من التعجيل. ويحدد طول**

المعجل الكلي بطول موجة مجال تردد الراديو وفلطية الفجوة معاً .

النوع الثاني ، وهو الأكثر استخداماً ويعرف بمعجل الفاريز الخطي (Alvarez) . ويستغل فجوة عالية النوعية Q تثيرها كمية كبيرة من قدرة التردد العالي . ويختلف هذا النوع عن نوع السلون من حيث افتقاده إلى أي تقييد على طول موجة المجال عندما تقترب سرعة الالكترونات من سرعة الضوء إلا أنه بالنسبة للبروتونات ذات الطاقة الصغرى ، فالطول الأدنى للموجة المسموح به مقيد بصرامة . ويمكن للمعجلات الخطية نظرياً أن تُبنى بأية طاقة ، والتقيد الوحيد يكمن في الحيز (الطول) الذي يشغله والكلفة التي تزداد مع الطاقة . ويذكر هنا أن أقوى معجل خطي للالكترونات أنشيء حتى الآن هو المعجل الخطي بطاقة ٢٠ ب . إ . ف . وبطول يبلغ ٢ ميل في جامعة ستانفورد بالولايات المتحدة والذي يعتبر من أهم المراكز العلمية لبحوث فيزياء الجسيمات .

ومن ناحية أخرى يمكن اعتبار البيتاترون محولاً ذا قلب حديدي يثار بواسطة تيار متردد أولي دائرة الثانوي التي تتكون من جسيمة مشحونة واحدة في غرفة التفريغ ، ولكنها مقيدة بالمجال المغناطيسي المستحث لتدور حول القالب . وتنتج القوة الدافعة الكهربية التي يحدثها التدفق المتغير عزماً على الشحنات بحيث تعجل بصفة مستمرة .

وهكذا تحقن الالكترونات من بندقية الكترونية داخل غرفة التفريغ الكعكية (دونات) بين أقطاب المغناطيس الاسطواني عند لحظة زيادة التدفق من الصفر ، وتدور لتكسب طاقة حين ترتفع قيمة التدفق مع الزمن خلال الربع الأول من دورة التيار المتردد ، وبعد ذلك تطبق نبضة لاستخلاص الإلكترونات المعجلة خارج غرفة التفريغ الكعكية (دونات) . إن أكثر الانجازات في مجال

زيادة الطاقة بماكينات البيتاترون تعود إلى المجهودات المتواصلة للفيـزيـائـي كيرست في جامعة الليتوي الذي أجرى المحاولة الأولى الناجحة بانتاج بيتاترون بطاقة ٢,٣ م.إ.ف. في عام ١٩٤٠ وبانتاج أكبر لبيتاترون بطاقـة ٣٠٠ م. إ. ف في عام ١٩٥٠ . على أن التقييد الخطير لزيادة الطاقة في البيتاترونات هو ما يسببه الاشعاع من فقدان للطاقة بما يزيـد بمقـدار القـوة الرابعـة لطـاقـة الالكترونات.

ويتناول **الفصل الثاني** تطبيقات معجلات الجسيمات؛ فبالرغم من أن الهدف الرئيسي كان استخدامها في فيزياء الجسيمات الأولية إلا أنها كانت كثيرة الاستخدام في تطبيقات متعددة.

يعطي القسم ٢أ تقويماً عاماً لاستخدامها في البحوث النووية وفيزياء الطاقة العالية بدءاً بمشاكل الفيزياء النووية في مدى الطاقة ١٠ ـ ١٥٠ م.إ. ف. مع التوكيد الخاص حول التركيب النووي ومشاكل النماذج النووية. ومن المشاكل العديدة الغير محدودة والمشار إليها المشاكل التالية:

استخدام بريمشترالنج الأشعة السينية المنتجة بواسطة حزم الإلكترونات ذات الطاقة العالية، في دراسات الفيزياء النووية الضوئية وقياسات زمن الطيران بالواحد على ألف مليون في الثانية وتلاشي البوزيترونات الوحيدة الطاقة. بالاضافة إلى ذلك، تم نشر عـدد غير محدود للبحـوث حـول القـوى النـوويـة والوسائل المختلفة والقياسات المستخدمة فيها. من ناحية أخرى، أحرز تقدم كبير في مجال الطاقة العالية وفيزياء الجسيمات الأولية خلال العقد السابق.. ووجدت الجسيمات في أكثر من مائة حالة مختلفة، وقيست خواصها الأساسية مثل الشحنة والكتلة واللولبية وزمن عمرها. والاكتشافات في مدى الطاقة المتعددة البليون فولت الكتروني لجسيمات غريبة، وقانون الحفاظ على الغرابة بالاضافة إلى علاقتها بالتفاعلات الضعيفة والقوية، ليست سوى بعض الأمثلة

لنتائج بحوث هامة في هذا المجال. ومن المشاكل ذات الأهمية: التحقق من المبدأ النظري الأساسي للتماثل بين الجسيمات ومضاد الجسيمات وتأثير عدم الاحتفاظ بالتماثل في التفاعلات الضعيفة على فروع عديدة من الفيزياء، وتفهم أفضل للتفاعلات القوية باكتشاف حالات جديدة ذات العمر القصير. ومن تلك الاكتشافات كان اكتشاف النيوترينو ثم اكتشاف الكواركس والليبتونز واكتشاف لجسيم غريب أعطي اسم ابسيلون (فقد وجدت كتلته تزيد عن عشر مرات كتلة البروتون).

يعالج القسم ٢ب تطبيقات المعجلات في مجال اختبار المواد وتوليد المواد الانشطارية. وهذه التطبيقات تماثل تلك المستخدمة في مفاعلات الانشطار. والميزة الواضحة هنا كون الماكينة أقل تعقيداً وكذلك كلفتها أقل، وكمثال لذلك استخدام معجل فان دي جراف بطاقة ٣٠ م. إ. ف. في تحليل غير تخريبي للمواد الانشطارية مثل يو٢٣٥؛ وهنا تتداخل عينات صغيرة من المادة مع نيوترونات ناتجة عن تصادم أهداف الليثيوم (Li) مع بروتونات ذات طاقة ٢,٣٥ م. إ. ف، ثم يقاس عطاء النيوترونات المتأخرة من خلال الانشطار الحادث في العينات. من ناحية أخرى يتمثل الاتجاه الحديث في اصطدام الهدف المناسب بحزمة تنتج النيوترونات الشظايا وتفوق قيمة فيضه درجة الزيادة أفضل مفاعلات الحالة المستقرة. وهنا يُعطى وصف لمصدر نيوترونات نابض في مختبر أرغون القومي في الولايات المتحدة حيث يستخدم سينكروتون بروتونات بطاقة ٨٠٠ م. إ. ف. ويولد فيضاً نيوترونياً حرارياً بقيمة فعالة حوالى ١٠^{١٦} نيوترون/ سم^{٣}/ الثانية كما وينتج النيوترونات فوق الحرارية (< ٠,١ فولت الكتروني). وقد طبق تشتت النيوترونات في بحوث المادة المكثفة التي تعطي معرفة ميكروسكوبية مباشرة متعذر الحصول عليها من قبل بأية وسيلة أخرى في علم الأحياء والكيمياء والفيزياء وعلوم المواد. وفي معجل

التوالد ذات بروتونات أو ديوترونات تتراوح طاقتها ما بين ١ ـ ٢ ب . إ . ف ، تحول المواد الخصبة إلى وقود انشطاري (أي ثوريوم ٢٣٢ إلى يورانيوم يو ٢٣٣ ، أو يو ٢٣٨ إلى بلو ٢٣٩) وذلك باستغلال النيوترونات الشظايا المنتجة . ولقد وجد أن أكثر من ١٠٠٠ كلغ في السنة من وقود اليورانيوم ٢٣٣ أو بلو ٢٣٩ ، يمكن انتاجه وقد يزود ذلك وقوداً كافياً لتأمين قدرة تصل حتى ٦٠٠٠ ميجاوات كهرباء لمفاعل تقليدي . ويستعرض القسم ٢ ج ١ التطبيقات الصناعية التي تبدأ بالمعالجة الاشعاعية وصناعة الطلاء ، وميزة استخدام الالكترونات عندما تقارن بالاشعاع . ويتناول القسم ٢ ج ٢ المجالات الأخرى لتطبيقات حزمة الالكترونات مثل التليف والتطعيم في البلاستيك والمطاط وتطبيقات مماثلة وأيضاً في مجالات التطبيقات التالية : وقاية الأطعمة ، ومعالجة النفايات الصلبة ، والمياه ، وتعقيم المستودعات الصيدلية ، ومستودعات المستشفيات ، بالاضافة إلى التصوير الاشعاعي لمقاطع من الصلب سميكة جداً ، ولدافعات الصواريخ الصلبة والمواد الانشائية الغير عادية والمركبات المعقدة .

أما القسم ٢ ج ٣ فيستعرض النظائر المشعة المنتجة من المعجلات وتطبيقاتها ويشار هنا على أن النظائر الطويلة العمر المنتجة بالمفاعل ليست في الغالب أفضل ما تكون لتناسب تطبيقات طبية أو بيولوجية أو صناعية . **فالسيكلوترونات يمكنها أن تنتج تشكيلة واسعة من النظائر الناقصة النيوترونات ومن بعض الأمثلة للتطبيقات : الكشف عن الأورام والآفات ، وقياسات انسياب الدم وقياسات عن تآكل المواد والانتشار المعدني والكشف عن التسرب . ويتم اعطاء تطبيقات لـ ٨٤** نظيراً مشعاً **تنتجها المعجلات الخطية ، ٥٨ منها لا يمكن** انتاجها في مفاعل ، أو نظراً لعمرها النصفي القصير ، يصعب أو يستحيل تحويلها إلى مفاعل أو مختبر .

ويعالج القسم ٢ ج٤ تقييم المواد التي يحوز فيها تأثير الاشعاعات النووية على الأجزاء الالكترونية وأنظمتها على أهمية خاصة ليس للمفاعلات النووية فقط، ولكن كذلك للصواريخ والتوابع ومركبات الفضاء. ولقد أثمرت دراسات التخريب الاشعاعي التي أصبحت مؤخراً تأخذ شكل الاختبارات البيئية عن بحوث الجوامد بالجسيمات النووية مؤدية إلى تحسين خواص أشباه الموصلات، وتشمل الوسائل المختلفة المستخدمة في مجال تقييم المواد: مجهر ايونات لقياس العطاء العنصري والنظائري في أحجام متناهية الصغر للعينات فمعجلات فان دي جراف المستخدمة في التحليل العنصري، والتحليل الثانوي لكتلة الأيون، وأيونات التيارات الخلفية وعملية التخديد في تحاليل مجاورات أسطح الجوامد. والتحليل التنشيطي هو تطبيق آخر مهم يعالج بشيء من التفصيل مشيراً إلى النيوترونات التي تولدها معجلات الجسيمات. وتحلل خواص طيف انحلال النشاط الاشعاعي من نواتج التفاعل ومن هذا التحليل يمكن الكشف عن الشوائب على مستوى أجزاء من المليون أو حتى أجزاء من البليون. ويتم وصف لمختلف الطرق لانتاج النيوترونات التي تشارك في التحليل التنشيطي وتعالج التطبيقات في الاختبارات الطبية وتحليل العينات البيئية. ويتم استعراض التحليل التنشيطي باستخدام الجسيمات المشحونة لأنواع مختلفة.

يعالج القسم ٢ د التطبيقات البيولوجية والطبية أولاً باعطاء أمثلة لمعجلات معينة في أماكن مختلفة تستخدم في البحوث البيولوجية ثم يتم اعطاء تفوق مزايا المعجلات في التطبيقات الطبية على أجهزة الأشعة السينية في التصوير الاشعاعي. من ناحية أخرى يؤخذ في الاعتبار استخدام النيوترونات السريعة لمعالجة السرطان مع الاشارة إلى كون عدد لا يستهان به من الأورام مقاوماً بعض الشيء ضد التشعيع بالالكترونات أو الأشعة السينية بسبب التزويد الأوكسجيني الرديء للخلايا في مركز تلك

الأورام التي تعزل عن التغذية العادية للأكسجين. يلي ذلك وصف لاستخدام اشعاع العلاج بطريقة نقل الطاقة الخطي ن ط خ المرتفع (LET) الذي يعطي حلاً أكثر شيوعاً لمشكلة الخلية الناقصة الأكسجين.

ويستعرض القسم ٢ هـ بايجاز،المعجلات في بحوث الاندماج مشيراً إلى الحالات التي تستغل بها طاقة الجسيمات المعجلة إما لتسخين البلازما أو لتستحث الاندماج مباشرة. فالطريقة الأولى تكون إما بحقن حزم نشيطة من الجسيمات المتعادلة أو حزم الأيونات داخل البلازما، وفي الطريقة الثانية تستخدم حزمة الالكترونات لانتاج الحصار بالقصور الذاتي بطريقة مماثلة إلا أنها أكثر رجاءاً من حزم أشعة الليزر لحث الاندماج من داخل الكرية. في النهاية يستعرض القسم ٢ والمجاهر الالكترونية والتي لا تكون في الحقيقة سوى معجلات الكترونية. كما ويُعطى وصف **للتطوير الحديث الذي تم التوصل إليه إلى أن تم انشاء مجهر الكتروني قادر على** تعجيل وتجميع الالكترونات بطاقات تصل إلى ١٠ م. إ. ف. كما أعطيت بعض الأمثلة لأهم التطبيقات للمجاهر الالكترونية في مجالات مختلفة لمعالجة الجوانب البيئية والفيزياء الصحية لمعجلات الجسيمات.

هذا ويلاحظ في **الفصل الثالث** أن الأخطار الاشعاعية في معجلات الجسيمات أقل خطورة بكثير منها في مفاعلات الانشطار؛ وكمثل لذلك فإن حادث فقد التبريد الذي يحدث في المفاعلات يمكن أن يؤدي إلى تلوث خطير وإلى جرعات اشعاعية قاتلة، وبالرغم من ذلك فإن المعجل يمكن ايقافه بسهولة أو يمكن قطع حزمة أيوناته وهكذا يوقف معظم اشعاعه في حالة وقوع حادث تعرض. ومع ذلك يجب أن يتم تحجيب المعجل ومنطقته التجريبية بدقة لحماية الأشخاص والتجهيزات والجمهور بالقرب من المعجل من الأخطار الاشعاعية عند تشغيل الماكينات. ويتناول القسم ٣ أ جوانب الفيزياء الصحية لمعجلات الطاقة المنخفضة، بدءاً بوصف لقواعد الأمن الاشعاعي المتعلقة بحدود معينة

يوصى بها في العادة من قبل المنظمات الوطنية والدولية من أجل التحكم في المصادر ذات النشاط الاشعاعي . وفيما يتعلق بالقائم بتشغيل المعجل ذات الطاقة المنخفضة فانه ينطوي بصفة أولية على هدف التريتيوم المستخدم في توليد النيوترونات . مثال على ذلك فإن المتوسط السنوي للجرعة الاشعاعية للجسم كله ينبغي ألا يتجاوز ٥٠٠٠ ملي ريم .

وتُعالَج الأخطار الاشعاعية الخارجية في القسم ٣ أ ١ وتشمل هذه النيوترونات والأشعة السينية ونواتج التنشيط والبرمشتروهلنج في الأهداف . وفي كل الأحوال يتم وصف طبيعة التركيب الذي يتم بواسطته انتاج الاشعاع . كما تعطى بايجاز قياسات التحجيب المماثل بالاضافة إلى خصائص مواد التحجيب والتي توصف على ضوء النوع والطاقة وكثافة الاشعاع . هذا وفي معالجة الأخطار الاشعاعية الداخلية ، يستهل القسم ٣ ب بأهداف التريتيوم المستخدمة في انتاج النيوترونات والتي تحتوي في العادة على غاز تريتيوم بمقدار ١ إلى ٣ كوري ممتصة في التايتانيوم ويتم مناقشة أكسيد التريتيوم الذي يمتص بسهولة بواسطة الجسم بمعدل أسرع كثيراً من الغاز . كما ويشار إلى مستوى التريتيوم في العادم لمولد النيوترونات واعتماده على نوع نظام ضخ التفريغ المستخدم والطريقة التي يخفض بها مستوى التريتيوم بدرجة عالية . وفي حالة تلوث مضخات التفريغ والزيت يلاحظ أنه بالرغم من كون مشاكل صيانة المضخات الأيونية (والتي يكون زمن عمرها من ١٠ آلاف إلى ٤٠ ألف ساعة) أقل خطورة منها في حالة مضخات الزيت الانتشارية فان مضخات الأيونات تحتوي على مستويات عالية من النشاط . وتعالج الدراسة ثلاثة أنواع للاستنباء: استنباء الهواء الذي يستخدم على وجه الخصوص نوع استنباء غرفة التأين، واستنباء السطح الذي يستخدم جهاز قياس للمسح تناسبي الغاز وللعد الوميضي السائلي وأنواع أخرى للاستنباء الشخصي .

وهكذا يتناول القسم ٣ ب تحجيب معجلات الطاقة العالية . وبعد اعطاء عرض للعوامل المعتبرة في المعجل . يقاس اضمحلال تحجيب المعجلات للأشعة السينية بالنسبة للأنواع المختلفة من المواد الماصة ، وبالتالي يمكن الحصول على كثافة للأشعة السينية قبل وبعد عبورها المادة الماصة . ونتيجة لذلك فان امتصاص أشعة جاما سيتأتى من نفس العمليات كما في الأشعة السينية حيث أن الاشعاعات لهذين الاشعاعين متطابقة من حيث خواصها المراقبة علمياً .

أما في معالجة الادشاش (الوابل الألكتروني) ،فيتم اعطاء وصف لطبيعة التركيب التي بواسطته ينتج الوابل الضعيف النفاذية ،أي وابل متعاقب للأشعة السينية والالكترونات والبوزيترونات الثانوية . ويؤخذ أيضاً في الاعتبار النيوترونات الضوئية ويتم تحليل مقاطع التوزيع الزاوي والكثافات .

يتضمن تأثير وابلات النيوكليونات (بروتونات ونيوترونات) في المعجلات المتعددة الـ ب . إ . ف . انتاج نوع آخر من الوابلات مؤلف بنوع خاص من نواتج نيوكليونية ذات تفاعل عالي الطاقة (نجماً نووياً من البروتونات والنيوترونات والبايونات) . كما ويتم تحليل اضمحلال نيوترونات الطاقة العالية في مواد التحجيب بالنسبة لطاقات نيوترونية مختلفة . وقد أعطيت قياسات النصف قيمة السمك لبعض المعجلات . هذا ويشار إلى اضمحلال بروتونات الطاقة العالية وأهمية القياسات للجسيمات المخترقة وكثافات شدة التأين . من ناحية أخرى وقبل اعتبار اضمحلال الميزونات - (π-mesons) المعروفة بالبايونات ، والميكانيكية التي تنتج بواسطتها(δ + بروتون ، δ + نيوترون) بالاضافة إلى تعيين بايونات الرنين . ويرجع اضمحلال الميزونات المشحونة إلىفقدان الطاقة بالتأين وتؤسر البايون السالبة بواسطة النوى ، محررة بذلك طاقتها الكتلية على شكل أشعة جاما أو محدثة انحلالاً للنيوكليونات مع انبعاث نيوترونات . وتتحلل البايونات الموجبة

البطيئة في العادة إلى ميونات ونيوترونات، بينما تفتقد البايونات المتعادلة إلى تفاعل أساسي مع النوى وتتحلل نسبياً إلى شعاعي جاما بطاقة ٦٨ م. إ. ف. لكل منها. ويعطى تحليل مماثل لاضمحلال ميزونات ميو (الميونات). بالتالي يؤخذ في الاعتبار الشروط لتحجيب القنوات والانفاق خلال الدروع والتي تحول فيها أحزمة من الجسيمات منطلقة من أجل اجراء تجارب تحت أحوال كثافة خلفية منخفضة فيما بعد الحائط.

والقسم الأخير في هذا الفصل يتناول الأخطار الاشعاعية بالحث الاشعاعي الناتج عن مواد متباينة من المعجل وحوله،والذي يمكن أن يصطدم بالأيونات الموجبة والنيوترونات وأشعةجاما، ومؤدياً إلى اتساع في الأعمار النصفية ضخمة بقدر ما في طيف ناتج الانشطار من مفاعل انشطاري. ونوع آخر من الخطر الاشعاعي يعود إلى الاشعاع الموجه إلى أعلى والذي يتبعثر ثانية نحو سطح الأرض بالتصادمات مع نوى الهواء ويعرف هذا النوع بتألق السماء،ويجري تحليل للطرق التي تخفض من كثافات التألق.

أما الفصل الرابع المعنون «بالجوانب الاقتصادية والاستراتيجية لمعجلات الجسيمات» فيبدأ بمقدمة تشير إلى الميزانيات المتزايدة التي تحتاج إليها معجلات الطاقة المتعددة الـ ب. إ. ف. ليس فقط بشأن كلفة الماكينة بالذات، ولكن أيضاً بشأن كلفة الأجهزة والمعدات المطلوبة للتجارب. لعل هذا هو السبب في أن أكثر من دولة تتعاون لبناء واحدة من تلك الماكينات العملاقة كما هي الحالة في عملية سينكروترون سيرن بطاقة ٣٠ ب. إ. ف. ويتناول القسم ٤ أ جانبين لاقتصاديات المعجلات؛ أولاً: الاقتصاديات المتعلقة بتطوير المعجل. في هذا المضمار تعطى أمثلة حول تلك الوسائل الحديثة والتطويرات التي أدخلت لتحسين اقتصاديات المعجلات، ومن هذه الأمثلة استخدام المغناطيسات المفرطة الموصلية والذي نتج عنها انخفاض ضخم في حجم

المغناطيس فضلاً عن التخفيض الكبير للطاقةالمستهلكة . واستخدام حلقات التخزين قد أدت إلى انتشار مبادىء تعجيل جديدة للبحوث وفتحت المجال أمام المختبرات المتعددة لادخال حزم قوية وطاقات متزايدة بكلفة أقل بكثير واستمرار المجهودات في تعزيز الأفكار الجديدة التي تقوم بتحقيق تعجيل الجسيات إلى طاقات أكثر ارتفاعاً باقتصاديات محسنة إما على شكل تخفيض للطاقة المستهلكة أو اقتصاد في الحيز . ومن الأمثلة المذكورة حول تلك الأفكار الجديدة للتعجيل ريسيكلوترون ستانفورد المفرط الموصلية ومعجلات الحث ومعجلات الجسيات المتجمعة والحزم المعجلة بأشعة الليزر .

يتناول القسم ٤ أ ٢ اقتصاديات تطبيق المعجلات ويبدأ بتحليل التكلفة للتطبيقات ، التكاليف الثابتة والسارية ،والمنافع الاقتصادية للمعجلات في هذا المجال . ويجدر بالملاحظة على أنه بالرغم من كون اقتصاديات استخدام المعجلات أفضل من الطرق التقليدية ، إلا أنه يوجد حالات تكون فيها الوسائل الفنية للمعجلات إما في مرحلتها التجريبية أو أن تقنية الاشعاع ليست مقبولة في تلك الحالات (بعض حالات حفظ الطعام مثلاً) . ويتناول التحليل الاقتصادي الأول لهذه الدراسة المعالجة الاشعاعية كما في صناعة الطلاء ومعالجة الطليّات العضوية . والعوامل الأساسية التي تعيّن نوع نظام المعالجة الالكترونية المطلوب لعملية صناعية هي الفلطية أو الطاقة التي تحدد معدل الانتاج وتيار الحزمة . والجرعة المطلوبة لتطبيق ما يعتبر عاملاً محدداً أساسياً في تعزيز تكاليف المعالجة وتقاس بدلالة كمية طاقة الاشعاع الممتصة بوحدة الكتلة للمادة (وحدة « الراد » مثلاً).ويشار أيضاً إلى تقديرات لتكاليف أنظمة الاشعاع . كما أن هناك عاملاً مهماً آخر يساهم في التطور السريع لأنظمة الاشعاع ، وهو المقدرة على تكامل عملية الاشعاع مباشرة في خطوط العمليات المتواجدة فعلياً . ومن ناحية أخرى أثبت تعقيم المؤن الطبية التوفير باستخدامه

مصادر الاشعاع بالمقارنة مع وسائل التسخين أو الوسائل الكيميائية .

فيما يختص بحفظ الطعام بوسائل التشعيع، تشير جميع الدلالات حتى الآن إلى كون صناعة الطعام تستخدم كثيراً للاشعاع الالكتروني بسبب سرعاتها بأجمعها وتكاليف الوحدة المنخفضة . ويمكن أن تفهم اقتصاديات حفظ الطعام إذا علم أن التشعيع ينقذ معظم الفاقد الناتج من التلف والذي يصل إلى ٣٠٪ من الانتاج الكلي في بعض الأماكن . ويشير التحليل إلى الأطعمة كالخضر والفواكه والمأكولات البحرية . هذا وقد أجري تحليل للتكلفة بالنسبة لتطبيق آخر مهم والذي يساهم إذا ما أصبح معتمداً عليه ومقبولاً به تجارياً،في حل مشاكل الطاقة . وهذا التطبيق هو توليد الوقود الانشطاري الذي يستخدم معجلات الطاقة العالية بتحويل المواد الخصبة (مثل ثوريوم ٢٣٢) إلى مواد انشطارية (يو ٢٣٣)،أو تحويل (يو ٢٣٨ إلى بلو ٢٣٩) . وتقديرات التكلفة المبدئية لوقود توليد المعجلات تبلغ ١٠٠ إلى ٢٠٠ دولار للجرام الواحد والذي يعتبر أعلى بكثير من سعر اليوم الذي يبلغ ٢٠ دولاراً للجرام الواحد من اليورانيوم ٢٣٥ . إلا أنه يمكن أن يتطور وضع الطاقة في المستقبل مما يدفع إلى إنتاج أكثر للوقود النووي . ويُعطى مثل لمعجل الطاقة العالية قادرة على تزويد انتاج أكثر من ١٠٠٠ كلج/ في السنة من اليورانيوم يو ٢٣٣ أو بلو ٢٣٩ والذي يكون كافياً لدعم ما قيمته ٣٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ ميجاوات كهربي كقدرة لمفاعل تقليدي .

كما يعطى تحليل آخر لاقتصاديات مجموعة غير مدمرة للمواد الانشاطرية من أجل دعم برنامج احتياطيات الأمن النووي وبهدف المقارنة يجدر الأخذ في الاعتبار مفاعلات درجة الحرارة العالية والمبردة بالغاز والتي تزود بعناصر محتوية على كريات مطلية بالسيليكون ـ كاربيد من مزيج كاربيد اليورانيوم

المثرى ومن كاربيد الثوريوم. وكنتيجة لذلك، يكلّف التحليل الكيميائي من ٢٠٠ إلى ٤٠٠ دولار للعينة بدقة حوالي ١٪. ويمكن تحليل هذه الكريات إلى نفس الدقة بالتداخل مع النيوترونات والعد النيوتروني المؤجل في المعجل وتتكلف ١٫٥ دولاراً للعينة بمعدل خمسين عينة في اليوم. أما المعالجة الأخرى في هذا القسم فتتناول الاقتصاديات المتطورة التي تم التوصل إليها باستخدام معجلات الجسيمات المتعددة الأغراض. وتعطى الأمثلة عن معجلات مستخدمة لعدة نشاطات إضافية غير اجراء بحوث نووية وبحوث فيزياء الجسيمات النووية مثل معجل فيرميلاب بطاقة ٥٠٠ ب. إ. ف وسيكلوترون ترايومف ومعجل بالغ القوة عالي الطاقة ١٠ ب. إ. ف. وعالي التيار (١٠ أمبير) للأيونات الثقيلة في نظام مفاعل اندماج مجمع في جامعة ناجويا باليابان.

يشير القسم ٤ ب إلى المكانة الاستراتيجية الهامة التي تَتَبَوَّؤها معجلات الجسيمات في بعض المجالات التي تستخدم فيها، مثل توليد الوقود النووي والاندماج النووي الحراري وتحليل المواد الانشطارية لدعم برنامج احتياطيات الأمن النووي. وتوليد الوقود والاندماج من الأهمية بمكان من حيث الطلب المتزايد على الطاقة في السنوات المقبلة بينما يعتبر تحليل المواد الانشطارية ضرورياً لوضع تنظيمات شديدة موضع التنفيذ لحماية المواد الانشطارية ولتحمل مسؤوليتها بواسطة الأفراد المسموح لهم بحيازة هذه المواد.

وفي النهاية يتناول الفصل الخامس احتياجات الدول النامية مشيراً إلى الفصول الأولى السابقة حول أهمية تطبيقات المعجلات ومزاياها الاقتصادية وتأثيراتها الاستراتيجية في العديد من الاستخدامات. إلا أنه وبسبب ما تمثله معجلات الجسيمات ذات الطاقة العالية من تقنيات غاية في التعقيد، والحاجة إلى قائمة موسعة للغاية من العلماء والمهندسين والفنيين، وبسبب الانتشار الخطير

لانعدام المعرفة ونقص الاخصائيين في الدول النامية، ينبغي الحرص في اختيار نوع المعجل بل ومشروع المعجل بأسره. وقد اعطيت اقتراحات للخطط القصيرة والطويلة المدى. واعتماداً على وفرة الخبراء في مجال التخصص المعني في دولة نامية، يمكن أن يكون المعجل الأول معجلاً صغيراً ذا طاقة منخفضة يستخدم في التعليم والتدريب والبحوث. ويمكن أن تستخدم معجلات صغيرة أخرى في تطبيقات أخرى يمكن أن تجد التسهيلات الملائمة في مجالات مختلفة في دولة نامية. وعندما تكتسب بعض الخبرة، يمكن التحرك خطوة إلى الأمام وذلك بأن نقتني معجلاً ذا طاقة أعلى يمكن استخدامه في البحوث والتطبيقات. وفي مدى قليل من المليون فولت الكتروني للطاقة يمكن دراسة مشاكل كثيرة ذات أهمية كما ويمكن اكتساب المزيد من الخبرة. ومن المجالات الممكنة للتطبيقات استخدام معجلات الالكترونات لتشعيع المحاصيل مثل البطاطس والبصل وعلاج السرطان وغيرها من التطبيقات الأخرى المذكورة في الفصل.

إن الخطوة الاضافية الأكثر تقدمية في مرحلة مقبلة تكون مشروعاً مشتركاً للمعجلات بمساهمة مجموعة دول نامية أخرى في بناء واستخدام معجل متعدد الأغراض تكون طاقته في المدى من عشرات الـ م. إ. ف. للأيونات الفردية الشحنة. وقد تصل إلى مئات الـ م.إ.ف. للأيونات الثقيلة المضاعفة الشحنة. ومن وجهات النظر العلمية والتقنية وربما المالية سوف تتجاوز هذه الامكانية مقدرة الدول القائمة بذاتها، ويتم تحليل النوع المقترح ومنافعه ومجالات التطبيقات فيه. ويستعرض هذا القسم أيضاً بحث التدريب في تقنيات المعجلات، ويمكن تقسيم تقنيات المعجلات إلى طائفتين: تقنيات مميزة النوع لمعجلات متخصصة (مثل العدسات الالكترونية وتشخيصات الحزم والتحكم والمفرط الموصلية) والتي أعد بشأنها برامج تدريب خاصة لهذه الحالة

من أجل تزويد الأشخاص المطلوبين والنوع التقليدي من التدريب (مثلاً في الالكترونيات والهندسة الكهربية والتفريغ العالي والفلطية العالية والمغناطيسات) ويتم معالجة ظروف التدريب والهيئة القيادية له وتخطيط البرامج الخاصة به على ضوء مشروعات المعجلات الملائمة.

٢ - ٤ النظائر المشعة وبرنامج الاشعاع للدول العربية

(ملخص)

ش . فاليه

من ضمن المجالات المختلفة للتقنية النووية، ينبغي الأخذ بعين الاعتبار انتاج وتطبيق النظائر المشعة ومصادر الاشعاع بوصفها عاملان من عوامل الصناعة الاقتصادية.

ويتناول التقرير وصفاً مفصّلاً لمنتجات النظائر المشعة الممكنة إلى جانب المفاعل الليبي من نوع « ذي البركة » وبعض جوانب الانتاج وتقنية المفاعلات والكيمياء الاشعاعية. كما وتعطى معلومات خاصة باستخدام التكنيسيوم ـ ٩٩ m ومجموعة المركبات المرقمة لتكنيسيوم ـ ٩٩ m.

ويتم عرض ومناقشة الشروط الخاصة لانتاج المستحضرات الصيدلية المشعة والخطوات التي يجب اتباعها في تطوير الطب النووي الذي يعتبر أكثر الاستخدامات اهمية. ويكون التركيز على التغير الحاصل السريع في الاستخدام الطبي والتنمية المستقبلية لاستخدام انبعاث البوزيترون من السيكلوترونات الانتاجية وسيكلوترون المستشفيات.

ويتناول التقرير أيضاً استخدام المصادر الاشعاعية في التصوير بأشعة جاما الصناعي والتي تعتبر نشاطاً فعالاً إلى جانب التسهيلات الليبية.

في مجال الطب النووي يتم عرض شامل للطرق ولوسائل التحصين بالتحليل

الاشعاعي (RIA) وللاستراتيجية الممكنة للدول العربية.

ويمكن حصر الاهتمام في المصادر الاشعاعية للنظائر المشعة بشكل خاص في:

- الصناعة الغذائية (وتشمل الزراعة)
- والصناعة العامة
- والتعقيم

وتسمح الجهات الدولية الآن وأكثر من قبل باستخدام المصادر الاشعاعية في:

- معاملات تطهير من الآفات والحشرات
- تعقيم اشعاعي منخفض الجرعة radurization (جرعة اشعاعية منخفضة للحفاظ على المحتويات الحيوية للأطعمة الطازجة).
- تعقيم تالي radicidation
- تعقيم اشعاعي raddapertization (التعقيم).

أما في الصناعة فأهم الاستخدامات تنحصر في:

- تكوين الروابط العبورية
- عمليات البلمرة
- عمليات الفلكنة (تقسية المطاط)
- عمليات التطعيم

والتعقيم الطبي من الأهمية بمكان في صناعة المستحضرات الصيدلية مع المنتوجات الطبية الجراحية.

وأخيراً، يُعطى بعض أوجه النفقات المالية للنشاطات الحديثة:

- انتاج مفاعلات النظائر المشعة

- معمل انتاج مجموعة النظائر الباردة (Te- 99m) تكنيسيوم مشع - ٩٩ m .
- وحدة التحكم النوعي
- معمل تقدير واختبار المناعة الاشعاعية
- محطة تشعيع جاما .



٢ - ٥ رواسب اليورانيوم ، تقنياتها واقتصادياتها

(ملخص)

س . يانكوفيتش

بدأ دور اليورانيوم وتنمية خاماته يزداد أهمية في العالم بسبب المصانع النووية . ونظراً لأن انتاج اليورانيوم غالباً ما يكون مرتبطاً باحتياجات السوق فان تنمية موارد اليورانيوم ينبغي تقييمها لارتباطهاالوثيق بمستقبل تطور القوى النووية في العالم . وفي نهاية هذا القرن فان كثيراً من الدول تخطط لتخصيص جزء من قدراتها لتكون مولدة للطاقة النووية .

١ - رواسب خام اليورانيوم:

من ضمن العديد من أنواع رواسب اليورانيوم الموروثة هناك: (أ) نوع الحجر الرملي ، (ب) متكتل من خليط الحصى ، (ج) عرق المياه الجوفية الحارة ونوع شبيه العرق ، (د) نوع كالكريت Calcrete وجميعها ذات أهمية اقتصادية خاصة .

إن احتياطيات اليورانيوم الزهيدة والموجودة حالياً (فئة تكلفة أقل من ٣٠ دولار لكل رطل من أكسيد اليورانيوم (يو $_{٣}$ أ $_{٨}$) تمثل على الأرجح فوق ٦٠٪ ، أهمها متصلة بالأحجار الرملية والكتل المختلطة من حصى المرو (الكوارتز) ، والسائدة إما في صخور عصر ما قبل الكامبري ، أو في رواسب العصر الفانيروزوي المبعثرة تكتونياً والمغطية لطبقة القاعدة لعصر ما قبل الكامبري .

٢ ـ معايير التنقيب:

(أ) توزيع اليورانيوم في الصخور، (ب) بيئات رسوبية مميزة ذات نشأة فلزية و (ج) عوامل التحكم الصهيرية التي تعتبر من أهم دلائل التنقيب الاقليمي. فالأحجار الرملية النهرية ذات أهمية خاصة بالنسبة لتركيز اليورانيوم.

٣ ـ طرق الاستكشاف:

إن التنقيب عن خام اليورانيوم بسبب نشاطه الاشعاعي أسهل من البحث عن كل الخامات الأخرى. كما أن التطويرات الجديدة لطرق الاستكشاف تتراوح بين التعرف على الرواسب ذات النشأة المعدنية واختيار معايير وشروط التنقيب الأكثر وعداً وضماناً لأنواع معينة من رواسب الخام، إلى تحسينات في الجيوفيزياء النووية وكمثال على ذلك، العد الاشعاعي الاجمالي لأشعة جاما بواسطة الأجهزة المحمولة لمسح الموقع في المنجم وكذلك تطوير النظم المعقدة لقياسات اليورانيوم مباشرة في ثقوب الحفر الاسطوانية باستخدام العد النيوتروني.

٤ ـ احصائيات اليورانيوم في العالم:

لقد سبق تقسيم موارد اليورانيوم (أول يناير، ١٩٧٨) إلى فئتين (بحسب أعمال المجموعة المشتركة لحصر موارد اليورانيوم من وكالة الطاقة الذرية ـ و ط ذ/والوكالة الدولية للطاقة الذرية و د ط ذ، فيينا):

٤ ـ ١ فئة الموارد الثابتة المعقولة في العالم باستثناء الاتحاد السوفياتي والصين والدول الديمقراطية الاشتراكية لأوروبا الشرقية وقد قدرت كالآتي:

فئة التكلفة	أطنان اليورانيوم
أ ـ أقل من ٨٠ دولار أميركي لكل كيلوجرام من اليورانيوم	١,٦٥٠,٠٠٠
ب ـ من ٨٠ إلى ١٣٠ دولار/ كجم يو	٥٤٠,٠٠٠
	٢,١٩٠,٠٠٠

٤ ـ ٢ فئة الموارد الاضافية المقدرة. من المتوقع أن توجد غالباً على أساس الدلائل والشواهد الجيولوجية

فئة التكلفة	اطنان
أ ـ أقل من ٨٠ دولار/ كجم يو	١,٥١٠,٠٠٠
ب ـ من ٨٠ ـ ١٣٠ دولار/ كجم يو	٥٩٠,٠٠٠
	٢,١٠٠,٠٠٠

وحتى الآن لا يمكن اعتبار معدل الزيادة في موارد اليورانيوم في العالم مرضياً.

٥ ـ المصادر الاضافية لليورانيوم:

وبالاضافة إلى خامات اليورانيوم الأساسية فان اليورانيوم يمكن استخلاصه تحت ظروف معينة كناتج ثانوي من مصادر أخرى (صخر الفوسفات، وخام النحاس البورفيري وخامات أخرى غيرها).

٦ ـ انتاج اليورانيوم ـ في الماضي والمستقبل:

كان الانتاج العالمي التراكمي من اليورانيوم حتى عام ١٩٧٨، باستثناء الاتحاد السوفياتي والصين والدول الديمقراطية الاشتراكية لأوروبا الشرقية، ٥٠٥ ألف طن من اليورانيوم. وفي خلال الفترة ما بين ١٩٧٢ ـ ١٩٧٨ تراوح انتاج اليورانيوم من ٢٠ إلى ٣٣ ألف طن سنوياً. ومن المتوقع أن تصل مقدرات انتاج اليورانيوم الممكن الحصول عليها حتى عام ١٩٩٠ حوالي ١١٠ ألف طن من اليورانيوم سنوياً.

وسيكون انتاج اليورانيوم في المستقبل مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بالعوامل التالية:

٦ ـ ١ عوامل طبيعية أو جيولوجية:

تيسر احتياطيات الخام وموارده المؤكدة و/أو المشار إليها (من حيث المقدار بالطن ومحتوى الخام)، بالاضافة إلى معادن اليورانيوم المتوقعة في العالم (الموارد المأمولة).

٦ ـ ٢ عوامل تقنية ـ اقتصادية:

يعتمد معدل الانتاج على الاحتياطيات المتاحة، أي حجم وطبيعة الخامات والظروف التي يمكن أن تستخرج بواسطتها هذه الاحتياطيات (طبيعة الخام وزمنه وتعقيده إلى آخره). وقد تؤثر طبيعة جسم الخام على معدل الاستخراج كما حدث في المناجم الجوفية الكبرى الكندية (رواسب بحيرة اليوت Lake Elliot)، حيث يتعذر استنزاف الاحتياطيات المقدرة في الوقت الحاضر حتى نهاية هذا القرن بصرف النظر عن الطلب. وفي بعض المناجم الأخرى حيث يكون اليورانيوم ناتجاً ثانوياً، فان معدل انتاجه يحدد بالكميات المنتجة من الانتاج الأساسي (Withwatersrand في جنوب افريقيا). إن توسيع وإنماء قدرات انتاج اليورانيوم، خاصة الأنواع الجديدة منها، ربما يحدها الافتقار إلى رأس المال المستثمر إذا كانت هناك شكوك حول مستقبل نمو القدرة النووية، وبالتالي حول استمرار الطلب على اليورانيوم

في المستقبل. كما أن تقرير م ت ا ت/و د ط ذ يؤكد أيضاً أن تأثير ونفوذ الرأي العام المتزايد ضد الاستعمالات النووية، والافتقار إلى اطار عمل دقيق وحاسم لسياسة الطاقة في مناطق كثيرة بجانب التنظيم الحديث المتجه نحو الركود في وضع خطط نمو القدرة النووية ربما يؤدي في الواقع إلى التخفيض من استثمار الدولار المنظور والناتج عن المجازفة المتزايدة.

٦ ـ ٣ معالم التسويق:

لا يزال سوق اليورانيوم يعتبر نسبياً سوقاً ناشئاً، كما أن لوائح تسويق الخامات الأخرى والعلاقات والروابط التي دعمتها ورسخت تماماً من قيمتها وثمنها لا تزال تعتبر حتى الآن متقلبة وغير مؤكدة. ومن بين العوامل المؤثرة على مستقبل انتاج اليورانيوم، نذكر فقط الطلب والسعر. ونظراً لأننا سوف نستعرض فيما بعد معايير الطلب بتفصيل أكثر، فسوف نقتصر هنا على مشاكل أسعار اليورانيوم واتجاهاتها.

السعر: كان سعر التسليم الفوري في الولايات المتحدة في نهاية عام ١٩٧٧ حوالي ٤٣ دولار/رطل يو$_{٣}$أ$_{٨}$ (١١٤,٦٧ دولار/كجم يو). وقد سجلت الأسعار العالمية لليورانيوم خلال الفترة ١٩٧٤ ـ ١٩٧٧ زيادة سريعة نظراً لقرب موعد التسليم والاحتمال الأكبر أن ذلك ناشيء عن عوامل التسويق والزيادات الملموسة في تكلفة انتاج اليورانيوم من حوالي ٣٩ دولار/كجم يو عام ١٩٧٤ إلى ٥٤ دولار/كجم يو بقرب منتصف عام ١٩٧٥، وقد ثبت السعر قرب ١٠٤ دولار/كجم يو طوال عام ١٩٧٧.

والآن ما هو الاتجاه المتوقع في مستقبل أسعار اليورانيوم؟

بالنسبة لهذا التساؤل يوجد مجموعة آراء مختلفة، مع أنه من الصعب الاعتماد على أي تنبؤ. هذا بالاضافة إلى الرأي العام الذي يفيد بأن مستقبل زيادة الأسعار يجب أن يتبع اتجاهات التضخم، وهناك رأي يقول بأن سعر اليورانيوم يجب أن يتوقف عند المستوى الحالي وأن هذه الزيادة السريعة

جداً في أسعار اليورانيوم تنسب أكثر إلى قوى السوق، لا إلى التضخم المتزايد في تكاليف الاستكشاف والانتاج.

٦ - ٤ عوامل سياسية:

الاعتبارات السياسية للطاقة النووية ينبغي أيضاً أن تؤخذ في الاعتبار، فالتقييدات السياسية التي تحد من تنمية خام اليورانيوم الأولي ووفرة وجوده في السوق يمكن أن تكون محلية ومن خلال بعض الدول أو دولية. ومعدل الانتاج في بعض الدول يحدد عن طريق الحكومة وفقاً للاحتياجات المحلية وسياسة التصدير. أما في المجال الدولي، فالعوامل السياسية لها تأثير مهيمن على سياسة التصدير والتساؤل يدور حول: إلى أي بلد وتحت أي ظروف يمكن أن يصدر اليورانيوم؟

وبرغم أن العوامل السياسية ربما تقلل إلى حد بعيد الكمية المنتجة من اليورانيوم، فانها نادراً ما تكون متضمنة في التخطيط لانتاج اليورانيوم في المستقبل لأن مثل هذا الأثر لا يمكن التنبؤ به بدون أدنى شك.

٦ - ٥ تقييدات بيئية:

ربما تكون هي أيضاً عاملاً مؤثراً بالنسبة لتنمية قدرات انتاج المناجم مستقبلاً، بالأخص حيث يوجد راسب خام منخفض الرتبة ويراد استخراجه بعمليات الحفر المفتوحة الواسعة والضخمة (وهذا أحد الأسباب لعدم استخراج موارد اليورانيوم الضخمة، المنخفضة الرتبة، من الطفل الأسود في كولم بالسويد، على الأقل لمدة ١٥ إلى ٢٠ سنة قادمة.

٦ - ٦ سياسة التصدير للدول المنتجة لليورانيوم:

على الرغم من أن احتياطيات خام اليورانيوم في العالم قد تكون كافية لمواجهة احتياجات الصناعة النووية، إلا أن وجود اليورانيوم بالسوق وإمكانيات شرائه، أي بمعنى آخر توفره للصناعة، سيصل مقيداً ومشروطاً بسياسة التصدير للمنتجين الكبار (الولايات المتحدة الأميركية وكندا واستراليا

وجنوب أفريقيا بالاضافة إلى الاتحاد السوفياتي) والتي تستتبعها سيطرة العوامل السياسية . إن بعض الدول تقيم المحطات النووية ، لكنها لا تمتلك انتاجاً محلياً لليورانيوم، ومن الممكن نظرياً أن تشتري اليورانيوم المعروض بالسوق وتؤثر بذلك على زيادة الكمية المنتجة عالمياً ، ولكن هذا التصرف مقيد بظروف وأحوال خاصة غالباً ما تكون ذات طبيعة سياسية . وهذا الوضع من الأهمية بمكان بالنسبة لكثير من الدول النامية غير المنحازة .

٧ ـ الطلب على اليورانيوم ومواده المتاحة:

كثيراً ما يرتبط التنبؤ بالطلب المستقبلي المرجح لليورانيوم بعوامل عديدة من الارتياب والشك (نمو القوة النووية، ونوع المفاعل، إلى آخره) .

ولقد قدر أن متطلبات العالم من اليورانيوم حتى عام ٢٠٠٠ يمكن أن يتراوح .

(أ) بدون اعادة دورة

ما بين: ٣٥،٠٠٠ ـ ٣٣٨،٠٠٠ طن يورانيوم سنوياً .
٣٥،٠٠٠ ـ ١٧٨،٠٠٠طن يورانيوم سنوياً .

المتراكم: ٢،٢٧٦،٠٠٠ ـ ٣،٥٩١،٠٠٠طن يورانيوم

(ب) مع اعادة دورة

ما بين: ٣٥,٠٠٠ ـ ٢٤٢,٠٠٠ طن يورانيوم سنوياً
٣٥,٠٠٠ ـ ١٢٥,٠٠٠ طن يورانيوم سنوياً
المتراكم: ١,٨٥٩,٠٠٠ ـ ٢,٨٨٥,٠٠٠ طن يورانيوم

وبمقارنة متطلبات واحتياجات العالم السنوية مع مقدرات الانتاج للفترة من

عام ١٩٧٧ وحتى عام ٢٠٠٠ ، يمكن الاستنتاج أن مقدرات الانتاج يمكنها ، تحت ظروف معينة أن تدعم النمو في القوة النووية على الأقل حتى عام ١٩٩٠ . وفيما بعد عام ١٩٩٠ ، ستزداد باستمرار المطالب على الانتاج السنوي . ومن المحتمل جداً ألا تستطيع معدلات الانتاج ،على أساس احتياطيات اليورانيوم المعروفة حالياً ، أن تتمشى مع مطالب المشاريع والخطط بالنسبة لما بعد عام ١٩٩٠ ، بل يجب أن تقل لأن الخامات ذات المرتبة الأغنى تصبح مستنفذة . وجدير بالملاحظة أن كل الموارد الثابتة (الأكيدة) المعقولة لم يتم اكتشافها كلية حتى الآن كما أنه لم يحسب حساب للحاجة إلى الاحتفاظ وباستمرار،باحتياطي يخصص لمدة ١٠ سنوات مقدماً . وكنتيجة لهذه المعلومات ، فما زال العالم بأسره في أمس الحاجة إلى نشاط استكشافي مكثف وعاجل لكي يتكمن من اكتشاف رواسب خام جديدة ولاضافة موارد أخرى إلى الاحتياطي لدعم ومساندة نمو القوى النووية المتوقع .

٨ ـ الدول النامية واليورانيوم الكامن بها :

يوجد ٨٠٪ تقريباً من جميع احتياطيات اليورانيوم ذات التكلفة المنخفضة المعروفة في العالم (ما عدا الاتحاد السوفياتي والصين والدول الاشتراكية في أوروبا الشرقية) في أربع دول هي : الولايات المتحدة وكندا واستراليا وجنوب أفريقيا .

كما أن احتياطيات اليورانيوم الضخمة والموارد المبينة أو المشار إليها هي عبارة عن النتائج المتوقعة للجهد المكثف جداً وبالأحرى الاستكشاف المنهجي ، الذي قد تم تنفيذه خلال الثلاثة عقود الأخيرة في كل من الولايات المتحدة وكندا واستراليا وأقل كثيراً في جنوب أفريقيا ، حيث يكون اليورانيوم ناتجاً ثانوياً للذهب(منطقة Withwatersrand) .أما الدول الصناعية التي تفتقر إلى موارد وطنية محلية و/أو التي تمتلك كميات غير كافية من اليورانيوم في رواسبها المحلية لتواجه متطلباتها (جمهورية المانيا الاتحادية واليابان والمملكة المتحدة وفرنسا) فلقد اضطرت لبذل جهد نشيط

وفعّال في البحث عن اليورانيوم أيضاً في الدول الأخرى، وبالأخص فرنسا بالنسبة لنشاطها في افريقيا كوسيلة من وسائل الاستثمار المالي ذات العائد الكبير. وتقدر نفقات استكشاف اليورانيوم في العالم في عام ١٩٧٧ بما يجاوز ٤٢٠ مليون دولار.

ومثل هذا الاتجاه في نشاط الاستكشاف سوف يستمر على الأقل خلال العقد القادم. لكن حتى عن طريق التنقيب المكثف والمعجل فانه ما زال من غير المؤكد أن يكفي هذا الاستكشاف لتغطية الطلبات بالنسبة لمستقبل الصناعة النووية. وحتى عام ١٩٧٣ لم تظهر أغلبية الدول النامية أي اهتمام بعملية استكشاف اليورانيوم. فالطلبات المتزايدة على اليورانيوم وأسعاره العالمية والعقود الطويلة المدى، بالاضافة إلى نقص الطاقة في العالم ودور القوة البشرية الآخذ في الازدياد كلها قد جعلت هذا الاهتمام برواسب اليورانيوم يزداد مجدداً، وعليه أخذت الكثير من الدول النامية تؤسس البرامج القومية، مسخرة لذلك رؤوس أموال كثيرة.

تشمل الدول النامية أقاليم فسيحة مستكشفة استكشافاً طفيفاً أو يمكن القول ذات مساحات ضخمة غير مستكشفة بعد (افريقيا وجنوب أميركا وبعض المناطق في جنوب آسيا)، وجميعها يمكن اعتبارها إيجابية ومؤيدة لوجود رواسب اليورانيوم. ولقد اكتشفت مناطق على درجة كبيرة من الأهمية من رواسب اليورانيوم في النيجر، والجابون وناميبيا والجزائر، إلى جانب تمعدنات يمكن أن تكون لها أهمية اقتصادية في افريقيا بامبراطورية افريقيا الوسطى، والصومال ومصر وليبيا، ولأول وهلة يمكن القول بأن الدول النامية أو كثيراً منها، من الممكن جداً أن تصبح دولاً منتجة هامة لليورانيوم.

ومع أن الدول النامية تفتقر بوجه عام إلى الخبرة المتخصصة في أغلب فروع التقنية تعقيداً والتي تتطلب وقتاً طويلاً لتحقيقها، إلا أن لديها بالتأكيد فرصاً أكثر لتحويل اليورانيوم الكامن الطبيعي إلى انتاج لليورانيوم بسهولة وبسرعة

أكثر كخطوة أولى نحو التقنية النووية. وبالتالي ومع أن مستوى الدول النامية ما يزال متخلفاً بالنسبة لمستوى الدول المتقدمة فيما يختص بالتقنية النووية، فإن لديها - أو على الأقل البعض منها - ميزة اليورانيوم الكامن بأراضيها والذي تتطلع إليه الكثير من الدول الصناعية الكبرى.

ومع أن الدول النامية تمتلك فرصاً مؤكدة لتنمية رواسب اليورانيوم ضمن مقاطعاتها، فهل تسعى للبحث عن اليورانيوم وتثبيت قاعدة خامات يورانيوم؟ وقبل الاجابة على هذه الأسئلة بعبارات عامة فانه نظراً لكون الدول النامية تشمل دولاً لها مستويات سياسية اقتصادية وتقنية مختلفة جداً، ذلك بالاضافة إلى أن كلا منها لها سياستها الخاصة بالنسبة لمستقبل التزويد بالطاقة بما في ذلك الطاقة النووية فانه من الضروري الاشارة إلى بعض السمات المميزة لمواد اليورانيوم الخام وتنميتها.

١ - إن خام اليورانيوم في الموقع، والمتكون بواسطة طرق طبيعية هو من نفس درجة الخام، من وجهة النظر التقنية، وشبيه في كل من الدول النامية والمتقدمة. كما أن معالجة الخام وانتاج الكعكة الصفراء لا يتطلب تقنية عالية بشكل خاص. ويُعتبر الانتاج الذي يُحصل عليه (الكعكة الصفراء) بمثل الجودة التقنية لِما تنتجه الدول الصناعية الكبرى.

٢ - تعتبر رواسب اليورانيوم، والمناطق المحتوية على اليورانيوم نسبياً قابلة للكشف عنها بسهولة في الحقل، بل في الواقع هي أكثر سهولة تقريباً من كل رواسب الخامات المعدنية الأخرى. فالطرق الضرورية والوسائل التقنية للاستكشاف تعتبر، في الوقت الحاضر متوفرة ومتطورة تقريباً، وبالأخص استطلاع مرحلة الاستكشاف. والدول النامية ليست في حاجة إلى البحث والدخول في تطوير الوسائل والأساليب التقنية للاستكشاف التي تتطلب في الواقع تقنية معقدة، ولكن يمكنها ببساطة تطبيق التقنية المتاحة أو التعاقد مع الشركات الضخمة.

٣ - يعتبر المسح الاستطلاعي غير مكلف نسبياً ويساعد على سرعة الاقتراب المبدئي لليورانيوم الكامن داخل المناطق والمساحات الاقليمية.

وعندما يكون هذا المسح مُصاحَباً بتحليلات معدنية، فـان بـرامـج الاستكشاف تنحصر في أكثر المساحات المبشرة باليورانيوم وتوفر بذلك وقت ومصاريف الاستكشاف، أي تحتاج لمجرد رفع كفاءة التنقيب.

ومن المؤكد أن لدى كل الدول النامية خـرائـط جيـولـوجيـة قـد تستعمل في مثل هذه التقديـرات الأوليـة للمسـاحـات اليـورانيـوميـة واختيار أهداف الاستكشاف، على الأقل من الزاوية التقريبية.

٤ - إن كثيراً من الدول النامية - إن لم تكن كلها - تمتلك فعلاً الخبراء الفنيين المهرة لوضع البرامج القومية لاستكشاف اليورانيوم وتتولى منفردة و/أو بالتعاون مع المؤسسات الأخرى، تنفيذ الخطة الموضوعة. وفي الوقت الحاضر، أقامت كل الدول النامية مؤسسات جيولـوجيـة (مسـاحـات، جامعات) وجمعت خبرات فنية لمتخصصين قوميين، ليسـت كـافيـة حتى وقتنا الحاضر، إلا أنها سوف تتحسن خلال الأعوام القادمة. وحسب رأيي الشخصي، فإن نقص الخبراء المدربين لا ينبغي اعتباره عائقاً للدول النامية بالنسبة لاستكشاف وتنمة خام اليورانيوم المبدئي.

٥ - يعتبر الطلب على اليورانيوم، بالاضـافـة إلى الأسعـار واتجاهاتها، من العوامل المشجعة لتنمية مناجم اليورانيوم؛ هذا بصرف النظر عما إذا كانت الدول النامية تنوي استخدام اليورانيوم لأغراض التصدير أو للاستهلاك المحلي. كما أن احتياجات الدول النامية لليورانيوم، خاصة في العقدين اللاحقيْن ستساعد على بقاء الأسعار مرتفعة، وبناء عليه يصبح اليورانيوم سلعة جذابة.

٦ - إذا كانت بعض الدول النامية تنوي تطوير الطاقة النـوويـة، ولـو ابتـداء مـن عـام ١٩٩٠، فعليهـا أن تبـاشر مـن الآن في البحـث عـن

اليورانيوم لكي تهيّء قاعدة محلية وكوادر لليورانيوم، جزئياً أو كلياً من مواردها الخاصة. إن هذا الالحاح على بدء برامج مكثفةوسريعة، تمليـه فترة الوقت الطويل والمتزايد المطلـوب بين بـرنـامـج الاستطلاع وجعل الراسب منتجاً (من ٤ إلى ١٠ سنوات).

٧ ـ قدر اليورانيوم الكامن الطبيعي لكثير من الدول النامية بأنه ايجابي جداً، لكن يجب الأخذ في الاعتبـار الأوضـاع الجيـولـوجيـة وبـطء معـدل الاستكشاف الحالي واتساع الرقعة الفسيحة الضخمة المراد التنقيب فيها.

٨ ـ يعتبر وجود قاعدة محلية أولية لليورانيـوم بمثـابـة عـامـل استقلال في تـوفير اليـورانيـوم و/أو تعطـي امتيـازات في المفـاوضـات. إذا كانت الدول النامية ترغب في تأسيس طاقة نووية، عندئذ يجب عليها أن تدرك أنها لن تتمكن (في جميع الأحوال) من شراء اليورانيوم، إذا لم يكن لديها انتاج مناجم، لأن امدادها سوف يعتمد دائماً على الظروف السيـاسيـة، المتخـذة مـن قبـل الدولـة المنتجـة لليـورانيـوم. أمـا إذا كانت دولة نامية تحوز على قـاعـدة أوليـة لليـورانيـوم خـاصـة بها وفي مقدورها انتاج الكعكة الصفراء، فربما تكون فرص المفاوضات من أجل تكنولوجيا المفاعلات وتزويد اليورانيوم مع شركاء أجانب (في استثمار مشترك) أكثر نجاحاً.

٩ ـ تتجه جميع الدول النامية (ما عدا الدول المنتجة للبترول) التي لا تمتلك قسطاً وافراً من مصادر الطاقة الأخرى (الفحم والزيت والخام وقوى هيدرولية ومصادر مياه جوفية حارة) تقريباً نحو التصنيع (وينبغي أن تكون كذلك!).

وجدير بالملاحظة أن الزيت الخام والفحم يمكن استعمالها بطريقة أكثر نفعاً وفائدة في أغراض أخرى بدلاً من تحويلها إلى طاقة كهربية.

وبالنسبة لرأيي الشخصي في الاجابة على الأسئلة المطروحة أعلاه،يجب أن تكون بالايجاب، أي بمعنى أنه على الدول النامية أن تأخذ على عاتقهـا عمليـة

استكشاف اليورانيوم داخل مقاطعاتها القومية . وربما لا تستطيع أن تغطي كل المساحة وذلك عن طريق المسح الاشعاعي الاستطلاعي الجوي باستخدام طريقة التحليل الطيفي لاشعاعات جاما ، وذلك مثل كندا والولايات المتحدة ، ولكنها تستطيع أن تحدد على أساس وجود الخرائط الجيولوجية وإمكانية اجراء التحاليل المعدنية ، المناطق المبشرة أكثر كأهداف للتنقيب . ومثل هذا الاستطلاع الاقليمي ،ينبغي أن يكون الأساس لتحديد مساحات معينة وتخطيط تنميتها . وبطبيعة الحال فان مراحل الاستكشاف ومجالها وخصائص أسلوبها ، بالاضافة إلى تكثيفها وسرعة التنفيذ ، سوف تحدد من قبل كل دولة حسب احتياجاتها ، وإمكانياتها وتوفر الخبراء المختصين فيها .

وإذا تساءلنا أي طريق لاستكشاف اليورانيوم وتطوير ركيزته يمكن للدولة النامية أن تخطط له بملاحظة الاعتبارات التالية :

(أ) الاستثمارات اللازمة (ب) خطر الاستكشاف (ج) الكوادر الفنية ، شرط أن تعتبر وتحدد الأراضي الاقليمية أو بعض القطاعات على أنها ايجابية بالنسبة لليورانيوم .

هناك عدد من الامكانيات :

١ ـ الشروع في عملية استكشاف اليورانيوم بالاستعانة بخبرائها الفنيين الوطنيين ورأس مالها الخاص .

٢ ـ وبسبب افتقارها إلى رأس المال الخاص ،الترحيب بمجموعات الاستكشاف الدولية الاجنبية واستثمارها مع منحها حق الامتياز في الاستكشاف والاستثمار . ولكن في مثل هذا التعاقد يراعى أن تسيطر الحكومة على نسبة من الربح كما حدث في النيجر .

٣ ـ أن تستأجر شركات تعاقدية لانجاز برنامج استكشاف معين للاستفادة من درجة الخبرة والمعرفة الفنية لأفرادها العاملين في هذا المجال .

٤ ـ أن تخطط برنامجها القومي لاستكشاف وتنمية اليورانيوم والتعاون مع

الوكالة الدولية للطاقة الذرية (و د ط ذ IAEA)، أو مع دول نامية أخرى سبقتها في هذا المضمار، أو مع بعض الدول المتقدمة تتلقى منها المساعدة الفنية و/أو نقل الخبرة الفنية والمعرفة العملية.

إن الاختيار وأخذ القرار يعتمد على السياسة العامة للحكومة. ومن المرجح جداً أنه في أغلبية الدول النامية سيكون استكشاف اليورانيوم على هيئة احتكار حكومي، أو سيكون تحت تحكمها الدائم، ومن المستبعد أن يصبح استكشاف اليورانيوم هدفاً صناعياً كما في بعض الدول الصناعية الكبرى، لأن مثل هذه الصناعة لم تؤسس بعد في الدول النامية.

كما أن لكثير من الدول النامية في أفريقيا، دوراً مهيمناً في استكشاف اليورانيوم يلعبه الاستكشاف الدولي وشركات التعدين، حتى المؤسسات الحكومية، مثل هيئة الطاقة الذرية الفرنسية CEA العاملة ضمن مشاريع مشتركة أو بتوقيع عقود استكشاف. كما أنه يتم في بعض الدول النامية تنفيذ استكشاف اليورانيوم بواسطة منظمة أو هيئة حكومية مع أو بدون التعاون مع مؤسسات أجنبية.

في أغلبية الدول النامية في آسيا، تعد وتنفذ برامج الاستكشاف بواسطة وكالات حكومية وبشكل جزئي بواسطة شركات تعاقدية (ايران) ولكن لا يوجد الاتجاه كما في افريقيا لاستثمارات مشتركة مع مجموعة متعددة الجنسيات. ومع ذلك يوجد قليل من الاستثناءات (أندونيسيا).

٢ - ٦ التفجيرات النووية للتطبيقات السلمية

(ملخص)

م . الجبيلي

هذه خلاصة مركزة لتقرير « التفجيرات النووية للتطبيقات السلمية » . ويحتوي هذا التقرير على ثمانية فصول.

والفصل الأول مقدمة ويلقي الضوء سريعاً على اكتشاف وتطور الطاقة النووية وتطبيقاتها الرئيسية في انتاج الكهرباء والاستخدام الممكن لها في شكل متفجرات نووية لأغراض سلمية متشعبة.

ويعالج الفصل الثاني الأوجه القانونية الدولية والتزامات المعاهدات ويغطي ما يلي:

أولاً - معاهدة حظر اختبارات الأسلحة النووية في الجو وفي الفضاء الخارجي وتحت الماء لعام ١٩٦٣ (م ح ج أ).

ثانياً - معاهدة بين الولايات المتحدة الأمريكية واتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفياتية عن التفجيرات النووية تحت الأرض للأغراض السلمية، ١٩٧٦.

ثالثاً - معاهدة منع انتشار الأسلحة النووية لعام ١٩٦٨ (م م أ).

رابعاً - معاهدات وقرارات دولية أخرى.

خامساً - الحاجة لمزيد من الترتيبات والاتفاقيات الدولية

ويتناول الفصل الثالث ظاهرية (فينومينولوجيا) التفجيرات النووية وينقسم إلى قسمين:

أولاً ـ ظاهرية التفجيرات المحتواة.

ثانياً ـ ظاهرية التفجيرات التفهويهية (أحداث فوهات). وقد أعطيت بعض الأمثلة التوضيحية لبعض أحداث التفويه النووي. وتتضمن:

١ ـ الأحداث الأمريكية:

أ) حدث سيدان

ب) حدث سلكي

ج) حدث شونر

٢ ـ الحدث الهندي

ويعالج الفصل الرابع أوجه الصحة والأمان للتفجيرات النووية. وتعتبر الأخطار الحرارية غير ذات أهمية حيث أنه في اطار م ح ج أ يسمح فقط بالتفجيرات النووية تحت الأرضية. وعلى ذلك، فان هذا الفصل يغطي ما يلي:

أولاً ـ الصدمة الأرضية (التأثيرات الزلزالية).

ثانياً ـ الفرقعة الهوائية والجيشان القاعدي.

ثالثاً ـ الاشعاعية وتشمل:

١ ـ الأوجه الراديولوجية للتفجيرات المحتواة.

٢ ـ الأوجه الراديولوجية لتفجيرات التفويه

رابعاً ـ أمان المتفجرات النووية

خامساً ـ استنتاجات عامة عن الصحة والأمان

هذا وتجري مناقشة تفاصيل أخرى عن أوجه الصحة والأمان فيما بعد في ارتباط مع كل تطبيق.

والفصل الخامس حول اقتصاديات تطبيقات التفجيرات النووية السلمية

(ت ن س). وهو معالجة عامة تشمل ما يلي:

أولاً - التحليل الاقتصادي لمشروعات ت ن س

ثانياً - تحليل التكاليف.

ثالثاً - بنود التكلفة ذات الأهمية الخاصة لمشروعات ت ن س.

رابعاً - قيود الطريقة.

خامساً - الوضع الاقتصادي الحالي لتطبيقات ت ن س.

هذا، وتقدم معلومات اقتصادية أخرى فيما بعد في ارتباط مع كل تطبيق.

ويعالج الفصل السادس التطبيقات المحتواة لتكنولوجيا ت ن س. وتشمل هذه التطبيقات الخطوط التالية:

أولاً - تحفيز الغاز (رفع انتاجه)، متضمناً:

١ - أحداث الولايات المتحدة:

أ) حدث جاسبجي

ب) حدث روليسون

جـ) حدث ريوبلانكو

٢ - نظرة مصرية عن احتمالات تحفيز الغاز في مصر

٣ - تقييم تحفيز الغاز بواسطة ت ن س

ثانياً - تحفيز الزيت، ويغطي:

١ - احداث تحفيز الزيت السوفياتية.

٢ - دراسة بريطانية حول تحفيز الزيت تحت قاع البحر

٣ - تقييم تحفيز الزيت باستخدام ت ن س.

ثالثاً - سد آبار الغاز والزيت الشاردة، ويشمل:

١ - الأحداث السوفياتية

٢ - تقييم سد آبار الغاز والزيت الشاردة

رابعاً ـ تخزين الأيدروكربون السائل، ويعالج:
١ ـ الأحداث السوفياتية والأمريكية.
٢ ـ نظرة بريطانية حول تخزين الزيت تحت قاع البحر.
٣ ـ تقييم تخزين الأيدروكربون السائل باستخدام ت ن س.

خامساً ـ تخزين الغاز الطبيعي، ويغطي:
١ ـ الحدث السوفياتي والخبرة الأمريكية والفرنسية.
٢ ـ دراسة أوروبية غربية لتخزين الغاز.
٣ ـ نظرة بريطانية لتخزين الغاز تحت قاع البحر.
٤ ـ نظرة مصرية حول تخزن الغاز.
٥ ـ تقييم تخزين الغاز الطبيعي باستخدام ت ن س.

سادساً ـ انتاج الزيت من الطفل، ويعالج:
١ ـ البحث والتطوير المتصل بالتصور النووي الموضعي.
٢ ـ التصور النووي الموضعي.
٣ ـ تقييم التصور النووي الموضعي لإنتاج الزيت من طفل الزيت.

سابعاً ـ اذابة خام النحاس، وتشمل:
١ ـ التصور النووي للاذابة الموضعية لخام النحاس
٢ ـ تقييم التصور النووي لاذابة خام النحاس.

ثامناً ـ التخلص من المخلفات المشعة، ويتناول:
١ ـ تصور التخلص من المخلفات المشعة باستخدام ت ن س
٢ ـ تقييم تصور التخلص من المخلفات المشعة باستخدام ت ن س.

تاسعاً ـ تطبيقات أخرى محتواة، وتشمل ما يلي في مذكرات قصيرة:
١ ـ تخزين الطاقة.

٢ ـ استخلاص الحرارة الجيوحرارية

٣ ـ التحويل الموضعي للفحم إلى غاز.

٤ ـ اذابة خامات أخرى.

٥ ـ تكسير الخامات.

٦ ـ انتاج القوى الكهربائية وانتاج المواد الانشطارية.

٧ ـ انتاج النظائر.

ويتناول الفصل السابع تطبيقات الحفر لتكنولوجيا ت ن س. ويعالج التطبيقات التاليه:

أولاً ـ انشاء القنوات، ويغطي:

١ ـ تجربة شحنات الصف النووية الأمريكية.

٢ ـ مشروع قناة بيكورا ـ كولغا وتجربة شحنات الصف النووية السوفياتية.

٣ ـ مشروع قناة برزخ أمريكا الوسطى.

٤ ـ مشروع قناة كرا التايلاندية.

٥ ـ مشروع قناة وصل نهري أ ورينوكو وريو ـ نجرو في فنزويلا.

٦ ـ مشروع قناة منخفض القطارة المصري.

٧ ـ تقييم حفر القنوات باستخدام ت ن س.

ثانياً ـ اقامة خزانات المياه، ويتضمن:

١ ـ المشروعات السوفياتية

٢ ـ تقييم إقامة خزانات المياه باستخدام ت ن س.

ثالثاً ـ انشاء الموانى، ويشمل:

١ ـ دراسة مشروع شاريوت الأمريكي.

٢ ـ دراسة مشروع كيب كيرودن الاسترالي.

٣ ـ تقييم انشاء الموانىء باستخدام ت ن س.

رابعاً ـ تطبيقات أخرى للشق، وتتضمن:

١ ـ التفجير الموجه لبناء السدود.

٢ ـ انشاء قطوع الطرق والسكك الحديدية.

٣ ـ انتاج الركام.

٤ ـ إزالة الحمل العلوي.

٥ ـ إزالة العوائق الملاحية الخطرة.

وأخيراً يتناول الفصل الثامن التطبيقات العلمية. وأنه ولو أن معاهدة الحظر الجزئي للاختبارات لعام ١٩٦٣ تقضي بحظر كل اختبارات التفجيرات النووية في الجو والفضاء الخارجي وبالتالي توقفت عملياً كل أنشطة البحوث في هذا المجال، غير أن التقرير يتضمن لمحات عن البحث والتطوير في هذا المجال بهدف استكمال المعلومات. وعلى ذلك فان التطبيقات العلمية للتفجيرات النووية السلمية المقدمة في التقرير تغطي الخطوط التالية:

أولاً ـ تطبيقات الفضاء، وتتضمن:

١ ـ الدفع الفضائي النووي.

٢ ـ استخلاص المياه من صخور القمر.

٣ ـ أداة عامة في بحوث الفضاء.

ثانياً ـ تجارب النيوترونات، وتغطي:

١ ـ المقاطع الفعالة للانشطار.

٢ ـ تماثل الانشطار في رنين اليورانيوم البلوتونيوم.

٣ ـ المقاطع الفعالة للأسر والنشر والنفاذية لنويدات مختلفة.

ثالثاً ـ انتاج العناصر الثقيلة

رابعاً ـ التجارب الزلزالية.

وقد تم التوصل إلى الاستنتاجات العامة التالية بالنسبة لامكانات ت ن س.

١ ـ إن التطبيق العملي التجاري الوحيد الذي تحقق في مجال ت ن س هو

السيطرة على حريقين بحقلي غاز بالاتحاد السوفياتي، وقد أمكن بذلك انقاذ كمية هائلة من المصادر القيمة للغاز الطبيعي. هذا، ويعتبر تحفيز الزيت باستخدام ت ن س في الاتحاد السوفياتي تكنولوجيا مثبتة.

٢ ـ كافة التطبيقات الأخرى، المحتواة والتفويهية، لا تزال في مرحلة البحث والتطوير وعلى درجات مختلفة من بشرى النجاح أو القرب من التطبيق الآمن الاقتصادي، فبينما بعضها قد وصل إلى مرحلة متقدمة فان البعض الآخر لا يزال في مرحلة التصور، كما أن هناك مجموعة ثالثة تقع بين هاتين المجموعتين.

٣ ـ تحققت بنجاح وفاعلية كبيرين تطبيقات علمية في مجالات الفضاء وطبيعة النيوترونات وانتاج العناصر الثقيلة وكذلك في مجال علم الزلازل.



٢ ـ التقنية النووية :
مناقشات واستنتاجات
وتوصيات هيئة الخبراء

في اجتماعها

المنعقد بالفترة من (٥ إلى ٨ نوفمبر ١٩٧٩ م)

دعا فريق التقنية النووية لمعهد الانماء العربي الخبراء الذين اشتركوا في مشروع الدراسة وهو «التقنية النووية والدول النامية» لحضور اجتماع الغرض منه تقديم دراساتهم وتبادل الآراء الخاصة بالاستنتاجات التي أبدوها في هذه الدراسات فضلاً عن اتخاذ أية توصيات قد تبدو مناسبة كنتيجة لهذه الدراسات. وقد وصل ثلاثة خبراء من الخارج:

الدكتور اتشن. أي بي بودين أخصائي فيزياء البلازما والاندماج النووي من مختبر (كولهام) بالمملكة المتحدة، والدكتور ش. فاليه الأخصائي في الكيمياء النووية وفي تقنية الاشعاع من معهد العناصر المشعة ببلجيكا والدكتور اس. بانكوفيتش استاذ الجيولوجيا والاستكشاف المعدني بجامعة بلغراد بيوغوسلافيا. وقد اعتذر كل من الدكتور ك. عفت أخصائي القوى النووية بمصر والدكتور أ. الجبيلي الكيميائي والأخصائي النووي في التفجيرات النووية للأغراض السلمية ـ اعتذرا من عدم استطاعتهما حضور الاجتماعات بسبب التزامات ملحة بين خاصة ومرتبطة بالعمل. واستمرت الاجتماعات طوال المدة من ٥ إلى ٨ نوفمبر ١٩٧٩ م تحت رسائة الدكتور م. ع. عبد العزيز رئيس فريق التقنية النووية. وانضم إلى اجتماع الهيئة في اليوم الأول الدكتور ح. القبيسي أمين عام (الجمعية العربية للفيزياء) كما انضم إليه في اليوم الثاني الدكتور ع. اسكنجي مدير عام مؤسسة الطاقة الذرية الليبية.

هل تحتاج الدول النامية للتقنية النووية؟

في بداية الاجتماع طرح أحد الأعضاء سؤالاً استوضح فيه أهداف الدراسة التي يجريها فريق التقنية النووية التابع لمعهد الانماء العربي. وقد أحاله الدكتور عبد العزيز إلى البرنامج الأول لمشروع الدراسة (الوارد في هذا التقرير) وشرح أهداف الدراسة بالتفصيل مشيراً لأهمية المسائل المتعلقة بحاجات الدول النامية. وقد أدى هذا إلى مناقشة حول ما إذا كانت الدول النامية بحاجة على الاطلاق أم لا للتقنية النووية. وقد أبديت آراء حول أهمية المشروعات المشتركة التي ينبغي أن تقوم بها جماعات من الدول النامية من بينها من لديها القوة البشرية المتمرسة وإن كانت تنقصها الميزانيات الكافية في حين تستطيع الأخرى تمويل المشروعات النووية الباهظة التكاليف وان أعوزتها القوة البشرية. وفي هذا الشأن ضرب مثل بالدول العربية المنتجة للنفط وغير المنتجة للنفط وإمكانياتها كجماعة غنية بالموارد والقوة البشرية بل وتوفر اليورانيوم.

وقد حدث جدل حول الدول النامية التي تملك عنصراً أساسياً تقنياً وما إذا كانت بحاجة إلى التقنية النووية. وضرب مثل بالنيجر وهي دولة نامية ولكنها ذات امكانيات في استخراج اليورانيوم.

وعندئذ استخلص أن الأمر دائماً متوقف على ظروف الدول الخاصة فهي التي تكيف احتياجاتها من الطاقة وما إذا كانت سوف تستخدم التقنية النووية أو تطورها.

ما هي التقنية النووية؟

أدت المناقشات المذكورة آنفاً إلى بحث تعريف التقنية النووية. وقد تم الاتفاق على مفهوم ما وهو أن «لكل دولة أن تستخدم التقنية النووية أو تأخذ بها أو تطورها بشرط القيام باختيار دقيق للمشروعات النووية المناسبة للاحتياجات المحلية للدولة».

أضف إلى ذلك أن العناصر الأساسية للتقنية النووية هي: -

١ ـ الأفراد المؤهلون المدربون.
٢ ـ المهارة في أساليبها.
٣ ـ توفر المعدات.

وبالنسبة للدول النامية فقد جاء ذكر « البحث » باعتباره عنصراً آخر. وأهمية الاستفادة من المشاكل على المستوى الوطني وكيفية استخدام أساليب الآخرين ونقلها.

وقد نوقش أيضاً موضوع البحث الأساسي والتطبيقي فيما يتعلق بتخطيط المشروعات النووية في الدول النامية. وقد اتفق على أن الحل الوسط شيء ضروري حيث لا يمكن التوصية بشيء مفضل نظراً لأن الأمر متوقف على نوع التقنية النووية ومدى الحاجة إليها في دولة معينة. وعند هذه النقطة حان الوقت المناسب لكي يقدم كل أخصائي دراسته.

كان المتحدث الأول هو الدكتور بودين

لخص عمله بادئاً بالمفاهيم الحالية الخاصة بالجدوى العلمية للاندماج النووي وشارحاً بالتفصيل حقيقة أن الجدوى العلمية لم يتم اثباتها بعد ولكن ربما تحققت في العقد الزمني التالي. وأوجز الدكتور بودين الشروط والمبادىء الأساسية للاندماج النووي من حيث متطلبات الكثافة ووقت الاحتجاز والحرارة وهي: ـ

حرارة الأيون $\sim$ ١٠ (ك .إ .ف) ، الكثافة $\times$ الزمن (ن ح) المنتج $\geqslant$ ١٢ $\times$ $١٠^{١٤}$ سم$^{-٣}$ ثانية. ثم استعرض التقدم الذي تم احرازه دولياً في كل اتجاه مع الاشارة بوجه خاص إلى المنحنيات التي تبين درجات الحرارة القصوى للأيون وعمر البلازما الساخنة التي تم التوصل إليها من آلات الاندماج المقفل المجال كدالة للزمن من الأعوام التقويمية (حتى عام ١٩٧٥) ومتغير لمنتج لوسون بحرارة الأيون بين عام ١٩٥٥ وعام ١٩٧٨ وقد ضرب الدكتور بودين أمثلة بأقصى القيم التي تم التوصل إليها: من درجات حرارة توكاماك حتى ٦ ك .إ .ف بمدلولات المنتج (ن ح) حتى ١ — ٢ $\times$ $١٠^{١٣}$ سم$^{-٣}$

ثانية التي تم التوصل إليها من درجات الحرارة المنخفضة وتحدث عن التجارب الكبرى الثلاث (جي . اي . تي JET تورس الأوروبي المشترك الجاري بناؤه في كولهام بالمملكة المتحدة وتي . اف . تي . آر TFTR بالولايات المتحدة الأمريكية و JT60 باليابان) والمقرر تشغيلها في المدة من ١٩٨٠ ـ ١٩٨٥ والتي سوف يتم التوصل فيها إلى ظروف قريبة جداً من تلك المتوقعة من مفاعل، وقد يبرهن فيها على الحصول على مكسب صافي (تعادل المكسب والخسارة) وتفاعلات ذاتية التداوم. وقد تضمنت المناقشة الحقن بحزمة لأشعة متعادلة كعملية التسخين الأساسية في توكاماك والتسخين بالتردد العالي بمولدات شديدة القوة.

بعد ذلك لخص الدكتور بودين الفكرة الكامنة وراء الاحتجاز الذاتي القصور ملاحظاً أن ضغوطاً عالية ودرجات حرارة بضع ك ف. وعائدات كبيرة من النيوترون الحراري النووي قد تم انتاجها بالتفجير الداخلي للكريات المجهرية الزجاجية باشعاع مركز من أشعة ليزر بطاقة في مدى واحد كيلوجول الذي يسفر عن ١٠^٢ ـ ١٠^٣ ضعفاً لضغط الغاز المنخفض الكثافة مقارناً بالضغط في الكثافات الجامدة بعاملي ١٠^٣ ـ ١٠^٤ كما هو مطلوب لنقطة تعادل المكسب والخسارة.

ولاحظ الدكتور بودين أن مكسباً صافياً للطاقة قد يتحقق في المدة من ١٩٨٠ ـ ١٩٩٠ إما بالرفع من شأن أجهزة الليزر الزجاجية أو ليزر نيوديميوم شيفا ـ نوفا (بليفرمور) أو ليزر « انتارز ك أ ٢ (لوس آلاموس). المصممة لطاقات في نطاق ١٠ ـ ١٠٠ كيلوجول.

وذكر الدكتور بودين الاحتجاز الذاتي القصور بحزم أشعة الالكترون والأيون وخاصة حزم أشعة الأيون الثقيلة وأشار إلى الفوارق الرئيسية بين الليزر وضغط حزم أشعة الجسيمات. وأعطى متغيرات لبعض مولدات حزم أشعة الالكترون في الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفياتي ومتغيرات المعجلات لمولدات « سانديا » الأمريكية التي تبلغ قوتها القصوى ٤٠ X

١٠ [١٢] وات والتي تنتمي إلى ماكينة EBFA التي سوف يتم تشغيلها في الثمانينات. وتوقع الدكتور بودين أن الجدوى العلمية ممكن اثباتها بالاحتجاز الذاتي القصور بعد حوالي عشرة أعوام حيث أن كفاءات الليزر ما زالت ضئيلة. بعد هذا العرض بحث الدكتور بودين دور الاندماج (النووي) في الدول النامية. وأبدى رأيه الخاص بشأن البرامج المحتملة في الدول العربية. والسؤال الهام «هل طاقة الاندماج (النووي) مطلوبة»؟ تم تحليله بمناقشة جميع العوامل المتصلة به (متطلبات الطاقة ـ مقارنة بين الانشطار (النووي) والاندماج (النووي) ـ تقديرات لمصادر الطاقة الأخرى مع الاشارة بصفة خاصة للطاقة الشمسية الهامة في الدول العربية). وقد أكد الدكتور بودين أن تقنية الاندماج بالغة التعقيد وأن هذا سوف ينعكس على الزمن اللازم لتطويرها. وعقد مقارنة بالزمن اللازم لتطوير أول مفاعلات انشطار لتوليد الكهرباء الاقتصادية والذي استغرق بين ١٥ ـ ٢٠ عاماً من اثبات الجدوى العلمية ملاحظاً أنه لا يوجد نظير له في الاندماج المغناطيسي وقليل من الشبه فحسب في الاندماج الذاتي القصور. وأشار إلى المفاعلات السريعة التي لها ـ كما قال ـ أساس تقني أشد رسوخاً مما هو موجود حالياً بالنسبة للاندماج.

واستنتج الدكتور بودين بتعبيره عن رأيه أن من الحكمة وضع الخطة على أساس أن الاندماج لا يحتمل أن يسهم اسهاماً ذا شأن في توليد الكهرباء قبل منتصف القرن القادم. ومع ذلك فقد أشار إلى أنه رغم امكان تعجيل هذا الموعد باستثمار ضخم على مستوى برنامج «أبولو» الأمريكي فانه ليس ثمة دافع للقيام بهذا لو أن المفاعلات السريعة صارت مقبولة.

وأخيراً طرح الدكتور بودين الأسئلة الثلاثة التالية وهو يقدم آراءه حول استراتيجيات الاندماج في الدول العربية.

١ ـ هل طاقة الاندماج مطلوبة في العالم العربي؟

٢ ـ إن كان كذلك فما هو مقياس الزمن المقرر لتقديمها؟ ومن ثم.

٣ ـ هل ينبغي على الدول العربية أن تبدأ في بحوث الاندماج وبرامج تطوير؟

وإذا كان الأمر كذلك فعلى أي مستوى وبأية أهداف؟

وقد جاءت الأجوبة على ضوء نتيجة البحوث على المستوى الدولي ومتوقفة على امكان أو عدم إمكان تطوير الاندماج كمصدر طاقة منافس اقتصادياً. أما متطلبات الطاقة وتطوير وتوفر مصادر الطاقة الأخرى فهي عوامل هامة. وهناك حاجة في الدول العربية لمقارنة إمكانية النفط والشمس والانشطار والاندماج بالحاجات التقديرية من الطاقة.

وختاماً لحديثه اقترح الدكتور بودين أوجه الاختيار الممكنة للدول العربية كما يلي: -

١ - لا داعي لبرنامج اندماج - وهو اختيار وصفه الدكتور بودين بأنه معقول تماماً - بشرط اجراء دراسات جامعية لفيزياء البلازما الأساسية وليس برنامج لأبحاث الاندماج. في هذه الحالة سوف يحتاج الأمر إلى مستشارين لاسداء المشورة بشأن حاجة العرب فيما يتطور الاندماج في جهات أخرى.

٢ - برنامج البقاء على اتصال «لتشغيل خبراء في اندماج النواة لمسايرة التطورات في كل مكان ولاسداء المشورة حول النجاح المرتقب لقوة الاندماج. وينبغي أن يشتمل هذا البرنامج على عمل تجريبي قد يجتذب العاملين الأجانب. وفي هذا الصدد لاحظ الدكتور بودين أن حجم البرنامج في الدول النامية ينبغي قياسه من حيث العاملين العلميين والفنيين المهنيين لا من حيث المال الذي يمكن أن ينتج التجهيزات المعدنية ولكن لا يمكنه تشغيلها.

٣ - معهد صغير لأبحاث الاندماج لتلبية أهداف الاختيار رقم ٢ ولكن على مستوى أكبر. ويمكن أيضاً ادراج بعض دراسات مفاعل الاندماج. ويأتي هذا الاختيار في مرحلة لاحقة (١٩٨٠ - ١٩٨٥) عندما يتقرر أن بحوث الاندماج لديها فرصة طيبة للنجاح.

٤ - معهد كبير لأبحاث الاندماج، مماثل لـ «كالهام» بالمملكة المتحدة، من

شأنه أن يتطلب برنامجاً مشتركاً بين الدول العربية مثل معهد عربي لأبحاث الاندماج .

وقد دارت مناقشات حول الظروف الايجابية التي يمكن في ظلها انتقاء أحد أوجه الاختيار المذكورة آنفاً .

وكانت الآراء الصريحة المحايدة الدقيقة التي أبداها الدكتور بودين محل تقدير. أقر أعضاء الجماعة توصية بأن أوجه الاختيار الأربعة واقعية بالنسبة للدول النامية وأن وجهي الاختيار ١ ، ٢ ، قد ينطبقان على حالة ليبيا التي قامت بالفعل بوضع مخطط لبرنامج فيزياء البلازما يتفق بشكل أو آخر مع وجهي الاختيار ١ ، ٢ وهما « ثيتاترون » بجامعة الفاتح ويعمل بالفعل وتجربة « توكاماك » وجاري تركيبها بالمركز الليبي للطاقة الذرية في تاجورا .

وكان المتحدث الثاني هو الدكتور يانكوفيتش الذي بدأ بتقديم ملخص لتقريره بعنوان « المستقبل المرتقب والتقويم الفني الاقتصادي لتنمية رواسب اليورانيوم في العالم مع الاشارة بصفة خاصة للدول النامية » . وأكد الدكتور يانكوفيتش أهمية اليورانيوم كوقود نووي باستعراض النسبة المئوية لمفاعلات القوى النووية في التزويد بالطاقة الكهربائية في مختلف الدول والاعتماد المتواصل المتوقع على القوى النووية .

وبصدد هذه الحقيقة قدم الدكتور يانكوفيتش تحليلاً عن توفر اليورانيوم في العالم عن الفترة ١٩٧٨ ـ ٢٠٠٠ والعوامل المؤثرة على انتاجه وتطور احتياطيات اليورانيوم ومصادره تطوراً وثيق الصلة بالتطور المستقبلي للقوى النووية في العالم بوجه عام وفي الدول النامية بوجه خاص .

ودار نقاش عند هذه النقطة بشأن احتياطيات اليورانيوم في العالم . وجاء ذكر الرقم $\frac{١}{٢}$ مليون طن . وتناولت مناقشة أخرى العمر المتوقع لاحتياطيات اليورانيوم وفي هذا الصدد جاء ذكر المولدات السريعة ـ كما وردت تفصيلياً في دراسات الدكتور ك . عفت ـ والدور الفعال الذي سوف تلعبه في مستقبل الوقود النووي . وتحدث الدكتور يانكوفيتش عن مختلف أنواع رواسب اليورانيوم وتعبئة اليورانيوم من مصدر أولي وترسيب اليورانيوم

(انظر تقرير الدكتور يانكوفيتش) . وقد دارت مناقشة حول رواسب الفوسفات التي تحوي اليورانيوم بنسبة تصل إلى ١٠٠ - ١٥٠ جزء في المليون والتي تعتبر ذات أهمية تقنية واقتصادية للدول العربية كمنتج ثانوي لحامض الفسفوريك كذلك شرح الدكتور يانكوفيتش أساليب الكشف وتشمل الوسائل الجيولوجية والجيوفيزيائية والجيوكيميائية . وفي تقديمه لموضوع احتياطيات اليورانيوم أوضح عدة سمات وثيقة الصلة بالموضوع مثل: مصطلح « الاحتياطي الخام » و« موارد الخام » وتصنيف « نسبة الاستكشاف » و« نسبة الثقة في التقدير » إلى فئاتها المختلفة، والآثار الاقتصادية للاستكشاف، وفئات « نسبة الاسترداد » باعتبارها « احتياطياً جيولوجياً » أو « احتياطياً قابلاً للاستغلال » وقيمة اليورانيوم (القابل للاستغلال - على سبيل المثال - بتكاليف تصل إلى ٨٠ دولار/كجم يو و٣٠ دولار/ الرطل يو ٣ أ ٨) كذلك فقد علق الدكتور يانكوفيتش على توفر اليورانيوم في العالم مشيراً إلى أن انتاجه المتقلب يتحدد بالطلب والأسعار والاحتياطيات وطاقة المناجم وسياسة التقدير. وقد قدم أيضاً تقويماً للطلب العالمي على الطاقة النووية مع توقعات للخطط المستقبلية للدول النامية . وفي معالجته لحاجات الدول النامية استهل الدكتور يانكوفيتش بأن أشار إلى أن نحو ٨٠٪ من احتياطيات اليورانيوم الرخيص التكلفة في العالم (عدا الاتحاد السوفياتي والصين والديمقراطيات الاشتراكية في شرق أوروبا) توجد في أربع دول: الولايات المتحدة الأمريكية وكندا واستراليا وجنوب افريقيا كذلك فقد لاحظ أن معظم الدول النامية حتى عام ١٩٧٣ لم تبد أي اهتمام خاص باستكشاف اليورانيوم. وأشار الدكتور يانكوفيتش إلى أن الطلبات المتزايدة على اليورانيوم وارتفاع أسعاره والعقود طويلة الأجل فضلاً عن نقص الطاقة في العالم وزيادة شأن دور القوى النووية زادت من الاهتمام برواسب اليورانيوم مرة أخرى. وقال أن كثيراً من الدول النامية وضعت برامج وطنية مستثمرةٌ رأس مال كبير وضرب أمثلة بالدول النامية وبعض السمات الخاصة لمادة اليورانيوم الخام وتطويرها .

ودارت مناقشة حول كيفية اكتساب الخبرة والمهارة لوضع برامج وطنية لاستكشاف اليورانيوم. وفي هذا الصدد أكد الدكتور يانكوفيتش أن كثيراً من الدول النامية ـ إن لم يكن كلها ـ لديها من الخبراء ذوي المهارة المناسبة ما يمكنها من القيام وحدها ـ أو بالتعاون مع مؤسسات أخرى ـ بتنفيذها.

وأوصى الدكتور يانكوفيتش بأنه إذا اعتزمت بعض الدول النامية تطوير القوى النووية، ولو حتى عام ١٩٩٠، فان عليها أن تبدأ الآن البحث عن اليورانيوم من أجل ايجاد أساس وطني لخام اليورانيوم كله أو جزء منه من الموارد الخاصة. وكما أكد الدكتور يانكوفيتش فان الحاجة الملحة لبرامج استكشاف فورية موسعة تفرضها حقيقة أن الأمر يتطلب وقتاً طويلاً متزايداً بين بدء برنامج الاستكشاف ومباشرة العمل في انتاج راسب ما (٤ ـ ١٠ سنوات).

وفيما يخص الجماهيرية الليبية فقد أبدى الدكتور يانكوفيتش ملاحظة حول أهمية استخراج اليورانيوم الذي يتوقع الدكتور يانكوفيتش وجوده في حوض مرزق الكبير وخاصة في الناحية الغربية منه حيث يحتمل أن يكون الجزء الرئيسي من «حجار» أهم المناطق لمصدر اليورانيوم. كذلك يعتبر حوض الكفرة الضخم مصدراً محتملاً لليورانيوم. واختتم الدكتور يانكوفيتش حديثه قائلاً أن منطقة شمال افريقيا الشاسعة هدف مبشر بالنجاح لاستكشاف رواسب خام اليورانيوم من نوع الحجر الرملي.

وفي اليوم الثاني لاجتماع هيئة الخبراء كان المتحدث الثالث هو الدكتور ش. فاليه الذي بدأ بتلخيص عمله في «برنامج النظائر المشعة للدول العربية». وقام بالقاء نظرة شاملة على استعمال الاشعاع في الميادين التطبيقية وامكانياته ذات الشأن. وأشار إلى حقيقة أن أي تخطيط لوحدات الاشعاع وادخال صناعة الاشعاع في الدول النامية يجب أن يأخذ في الاعتبار أن تقنية الاشعاع يمكن أن تتغير في المستقبل. ثم علق الدكتور فاليه على تسهيلات الانتاج في ليبيا والمستمدة من المعلومات التي جمعت ـ كما قال ـ خلال مناقشة استغرقت يومين

مع رئيس فريق التقنية النووية أثناء وجوده في طرابلس في ابريل ١٩٧٨ م وأهم الامكانات هو مفاعل الأبحاث ١٠ ميجاوات الذي سيبدأ تشغيله عام ١٩٨١ . هكذا وصف الدكتور فاليه تعريض الأهداف للاشعاع باستخدام القنوات الرأسية للمفاعل بالاستعانة بالتدفق المتيسر حتى ٢,٢ X $١٠^{١٤}$ ن/سم^{٢} /ثانية، والنظائر المشعة الناتجة في المفاعل والمجالات المحتملة لاستخدام تلك النظائر.

وفي مجال الصناعة أكد الدكتور فاليه أهمية مصادر يم ١٩٢ في التصوير الصناعي بطريقة الجاما وخاصة بالنسبة لخطوط الأنابيب وأهميتها لقنوات النفط والغاز الطبيعي . وكان من ضمن الاستخدامات الهامة التي ذكرها الدكتور فاليه أساليب العنصر الاستشفافي (وهو عنصر يمكن تتبعه خلال العمليات البيولوجية أو الكيميائية بفضل ما يمتاز به من نشاط اشعاعي) في رقابة الجودة والمعالجة بسلسلة من العمليات الصناعية المتعاقبة والتحليل الموضعي لحديد الخام المسحوق بتعريضه لمصدر نيوترون نظائري واحد ورقابة معالجة صناعة الاسمنت بمقياس مشع أثناء دوران الفرن . وفي الزراعة ذكر مشاكل ذات أهمية اقتصادية في الدول الحارة مثل تعريض الخضروات الطازجة والمحاصيل (بصل وبطاطس الخ . . . .) للأشعة للتخزين الأطول من المعتاد . وبالاشارة إلى الأدوية النووية وتأثيرها على الخدمات الصحية ذكر الدكتور فاليه أنه خلال ١٩٧٢ - ١٩٧٥ أظهر نمو الخدمات الصحية زيادة في أسِرَّة المستشفيات وتوسعاً في مهنة الطب بالدول النامية مثل ليبيا . وفي مجال الأبحاث تحدث الدكتور فاليه عن استخدام الاشعاع في الاحياء والكيمياء الحيوية والكيمياء . ثم قارن بين النظائر الناتجة عن المعجلات وتلك الناتجة عن المفاعلات . ورغم أنها أغلى سعراً وأصعب في تشغيلها وإدارتها فان المعجلات تزودنا بمجموعة منوعة من النظائر المشعة الممكن التحكم في طاقتها وكثافة حزمة أشعتها . وتأكيداً لفائدتها في الطب النووي ذكر الدكتور فاليه أن أكثر من ٢٠ سيكلوترونا طبياً جاري تشغيلها حالياً . وعقب الدكتور عبد العزيز قائلاً

أن بعض النظائر التي تنتجها المعجلات لا يمكن انتاجها بمفاعل وإن ميزة النظائر القصيرة العمر التي ينتجها المعجل راجعة إلى فعاليتها في التشخيص وأنه لا تنجم عنها مشاكل التخلص من الفضلات . وأكد الدكتور فاليه أن اعتبارين هامين في صالح استعمال النظائر التي ينتجها المعجل وهما سلامة المريض والمعلومات الطبية الأفضل من التصوير والتشخيص الوظيفي غير أنه نبه إلى أن الجانب الأسوأ هو الناحية الاقتصادية . وقد ذكر الدكتور فاليه أن التصوير الاشعاعي لانبعاث البوزترون هو أكفأ أداة تشخيص في الطب النووي في السنوات القادمة واستراتيجية مختلف المنتجين هي بناء سيكلوترونات فقط لانتاج النظائر المشعة . وأشار الدكتور فاليه إلى أن الاتجاه في الدول المتقدمة هو تطوير هذا الاستخدام الطبي لهذا النوع من الأدوات وذكر أن معاينة حديثة للسوق تقدر أن أكثر من ٥٠٪ من الطب النووي سوف يقوم عام ١٩٩٠ على نظائر السيكلوترون . وشرح الدكتور فاليه التفاعلات النووية المستعملة لانتاج ي - ١٣١ من التيلوريوم
وشرح أيضاً كيفية انتاج الموليبدنوم مو - ٩٩ لتحضير المولد تك - ٩٩ م .

وتناول الدكتور فاليه نظائر هامة أخرى . وبعد ذلك شرح مبدأ « راديو أميونو أساي »[١] وتكييفها مع تجربة كثير من الهرمونات في السوائل البيولوجية وناقش بعض النواحي المنهجية المتعلقة بقياس هرمونات الببتيد بـ « راديو أميونو أساي » . وقدم الدكتور فاليه معالجة لقياس الكمية المشعة والاطمئنان إلى جودتها ولمختلف طرق قياس النشاط الاشعاعي . كذلك فقد شرح طرق التعقيم الخمس المعترف بها رسمياً . وقد تناول الدكتور فاليه بالتفصيل أيضاً المستحضرات الطبية المشعة وأهميتها في مختلف الإستعمالات .
وعندما تحدث عن النواحي المالية والتخطيطية لانشاء وحدة صناعية للاشعاع لاحظ الدكتور فاليه أن تقديرات التكلفة تختلف من دولة الى اخرى وأن الأسعار غير ثابتة وفي النهاية قدم الدكتور فاليه الاستراتيجية والتوصيات الممكنة باقتراح برنامج يجري تطويره في بعض الاتجاهات التالية : -

(١) اي تجربة التحصين التحليلي بالاشعاع .

١ ـ تطوير انتاج النظائر المشعة وخاصة المستحضرات الطبية المشعة، وأهم مستحضر طبي مشع من شأنه أن يتحقق هو مو ـ ٩٩ لانتاج المولدات تك ـ ٩٩ م وكذلك لدراسة وتطوير انتاج الأطقم الباردة.

٢ ـ تطوير «راديو أميونو اساي» للتشخيصات البشرية والبيطرية.

٣ ـ اقتراح ادخال تطوير في الطب النووي بسيكلوترونات طبية صغيرة وسيكلوترون لانتاج المستحضرات الطبية المشعة.

٤ ـ التحقق من المصادر المحكمة الاغلاق لمختلف الاستعمالات. وإذا لم يكن لقدرة المفاعل أن تصل إلى النشاط المحدد المطلوب فمن الممكن شراء المادة الخام ذات النشاط الاشعاعي لبناء المصادر.

٥ ـ التدريب، وتجهيزات مختبر المركبات المرقومة.

٦ ـ توجيهات وتوصيات لتقويم رقابة جودة المستحضرات الطبية المشعة وال «أميونو اساي».

٧ ـ بالنسبة للصناعة، تطوير طيف الفلورة للأشعة السينة اكس والتحليل التنشيطي الاشعاع. وصف دراسة لأحد العناصر الاستشفافية والتحكم الموضعي بواسطة المقياس وانتاج أجهزة صغيرة ذات نشاط اشعاعي.

٨ ـ في ميدان الاشعاع النووي، اقتراح لمشعات الجاما للزراعة والصناعة الكيميائية والتعقيم بالجاما.

وتعليقاً على هذه المقترحات قال رئيس هيئة الخبراء أنه فيما يخص اقتراح السيكلوترون الطبي فسوف يقدم مزيداً من التفاصيل المتعلقة ببرنامج المعجل لدولة نامية وبالنسبة لاقتراح الدكتور فاليه لمشع للجاما أبلغ رئيس الهيئة الحاضرين أن الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية قد تسلمت لتوها وحدة جاما كوبالت ـ ٦٠ عن طريق برنامج المعونة الفنية التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية، وأضاف الرئيس قائلاً أن هذا المشع للجاما جاري النظر في تركيبه لخدمة عدة استخدامات طبقاً لبرنامج سوف يحسن بالتأكيد الانتفاع بمقترحات الدكتور فاليه في تقريره.

وكان المتحدث الأخير هو الدكتور م. ع. عبد العزيز الذي بدأ تقديم عمله حول «معجلات الجسيمات» بابداء بضع ملاحظات، أولها أن المعجلات علم يجمع بين نظريات الطبيعة والهندسة في تقنياتها المختلفة. وفي هذا الصدد تكون الملاحظة الثانية هي أن تقنية المعجل ذي الطاقة العالية، كالسيكلوترون مثلاً أشبه ما تكون بتقنية أسلوب الاندماج النووي، كالتوكاماك مثلاً، وقام الدكتور عبد العزيز باقامة الدليل على ذلك بسرد المكونات الأساسية لكل منها. والملاحظة الثالثة هي أن المعجل قد يعتبر مصدر اشعاع ومن هذا المنطلق أشار إلى أن له كثيراً من الاستخدامات التي ذكرها د. فاليه بالفعل. ثم استعرض د. عبد العزيز بايجاز مختلف أنواع معجلات الجسيمات بادئاً بأول وأصغر معجل «كوكروفت والتون» التعاقبي طاقة مائة كيلو الكترون فولت وحتى أضخم محطات الذرة معجل فيرميلاب المجمع طاقة ٥٠٠ بليون الكترون فولت. وبوجه خاص فقد استهدف هذا الحصر ايضاح العوامل التي تحد من طاقة كل معجل على أساس اقتصادي أو هندسي بحيث يؤدي التطوير أو الابتكار دائماً إلى اختراع مبادىء جديدة للمعجل واختتم الدكتور عبد العزيز هذا القسم بالاشارة إلى الجهود المستمرة في البحث وتطوير آلات ذات طاقة أعلى مع الاشارة بوجه خاص إلى المعجلات المفرطة الموصلية وحلقات التخزين وأحزمة الأشعة المتصادمة.

دلل الدكتور عبد العزيز على أهمية الاستخدامات ـ كما جاء بالفصل الثاني من تقريره ـ مشيراً إلى أنه رغم أن الاستعمال الرئيسي للمعجلات هو الانتفاع بها في أبحاث الطبيعة النووية العلمية فقد استخدمت على نطاق واسع في استخدامات ضخمة بعضها متصل بخطط التنمية. وعلى سبيل المثال ذكر في الصناعة عملية المعالجة بالاشعاع وصناعة الطلاء والوصل المستعرض والتطعيم في البلاستيك والمطاط وحفظ الطعام (وخاصة زيادة عمر تخزين المحاصيل مثل البصل والبطاطس والفواكه والخضراوات) ومعالجة النفاية الصلبة والمياه وتعقيم المستحضرات الطبية ومؤن المستشفيات والرسم الاشعاعي لقطاعات الصلب

السميكة جداً وما شابه ذلك من مشاكل . وعاد فأشار إلى النظائر المشعة الناتجة من المعجلات ومنافعها في الاستخدامات الطبية والبيولوجية والصناعية ملاحظاً أن :

١ ـ النظائر طويلة العمر التي تنتجها المفاعلات ليست عادة هي الأنسب لهذه الاستخدامات .

٢ ـ ٨٤ نظيراً مشعاً تنتجها معجلات خطية منها ٥٨ لا يمكن أن يصنعها مفاعل أو تكون لها نصف أعمال قصيرة بحيث يكون نقلها من المفاعل إلى المختبر متعذراً أو مستحيلاً وقد ذكرت استخدامات أخرى كتقويم المواد واختبار المادة وطبيعة الجسيمات الأولية وكثير من الاستخدامات الأخرى . وفي ميدان التحليل التنشيطي حيث تستخدم الجسيمات النشطة (مثل النيوترونات السريعة) لتحديد تكوين مقادير صغيرة جداً من المادة في المحاليل الكيميائية أو تحديد مقادير بالغة الصغر من الشوائب على مستوى أجزاء من مليون بل ومن بليون . أشار الدكتور عبد العزيز أن هناك معجلين صغيرين ١٥٠ك .إ .ف.تحت الانشاء حالياً في المركز الليبي للطاقة النووية . وسوف يكون هذان المعجلان هما الركيزة الأساسية لمختبر مولد للنيوترونات ومجهز بجميع المعدات اللازمة للبحث التطبيقي والأساسي .

وعند حديثه عن استخداماتها في العلاج البيولوجي والطبي أبدى الدكتور عبد العزيز ملاحظتين : أولهما أن هناك فوارق بين العلاج بحزمة الأشعة الألكتروني والعلاج بأشعة اكس (مؤكداً الآثار السطحية وأن معظم الأحداث الأولية تقع قرب سطح الوسيط (الأداة) في حالة أحزمة الأشعة ـ بينما تستطيع أشعة اكس أن تعبر مسافات أطول وأن فعالية ترسيب الطاقة على السطح أعلى بكثير بالنسبة للطاقة الاشعاعية بحزمة الشعاع ـ) ثانياً أن علاج السرطان بالنيوترون ـ وهو اسلوب حديث نوعاً ـ قد أثبت أنه أنسب الجسيمات لعدة أسباب (أهمها المقدار البالغ الانخفاض لـ « نسبة تأثير الأكسجين ») . كذلك

فقد شرح الدكتور عبد العزيز الدور الذي تلعبه معجلات الجسيمات في أبحاث الاندماج وفي إنشاء مجاهر الكترونية ذات طاقة عالية . وقد جرت بعض المناقشة حول تقييد الطاقة في استعمال المجاهر الالكترونية وفي علاقتها بنواحي ميكانيكا الكم من حيث خصائص « موجة ـ جسيم » الالكترونات النشطة .

وبعد ذلك قدم الدكتور عبد العزيز وصفاً موجزاً لأوجه البيئة والطبيعة الصحية للمعجلات . وأشار إلى أن المعجلات أقل خطورة بكثير من مفاعلات الانشطار وذلك فيما يتعلق بالحوادث النووية الهامة مثل حادث فقدان التبريد في مفاعل مثلاً . بيد أنه أضاف قائلاً أنه يجب الحرص على توفير الحجاب المكثف المناسب لحماية الأفراد والمعدات والجوار من الاشعاع المنطوي على خطر أثناء تشغيل الآلة . وقد أشير إلى تعليمات الأمن فيما يتعلق بالقيود المحدودة التي توصي بها عادة المنظمات الوطنية أو الدولية بهدف التحكم في مصادر النشاط الاشعاعي وبالنسبة للمعجلات ذات الطاقة المنخفضة . فقد ناقش الدكتور عبد العزيز بايجاز مخاطر الاشعاع سواء داخلياً من الأهداف (مثل التريتيوم) أو خارجياً من النيوترونات وأشعة اكس ومنتجات التنشيط والأشعة السينية من الأهداف . وقد بحث أيضاً في مختلف أنواع المراقبة . ثم دارت مناقشة موجزة حول حجب المعجلات ذات الطاقة العالية . وفي معالجته لاقتصاديات معجلات الجسيمات أشار الدكتور عبد العزيز إلى ميزانيات معجلات الجسيمات المتزايدة جداً وذكر أن أكثر من دولة تتعاون في انشاء معجلات كبيرة لهذا السبب كما هي الحالة بالنسبة لسينكروترون « سيرن » ٣٠ ـ ب . إ . ف . وبحث الدكتور عبد العزيز اقتصاديات المعجلات من وجهتين : ١) تطوير المعجل وانشاؤه ٢) اقتصاديات متصلة باستخدامات المعجل . وقال الدكتور عبد العزيز أن كلا منهما مرتبط بالآخر وأن تخصيص الميزانية لانشاء مجمع لمعجل تبرره الاستخدامات وعوامل أخرى مثل القدرة على دمج النظام الجديد (مثل عملية تحضير الاشعاع) في الخطوط القائمة (عملية التحضير) . كذلك فقد أشار الدكتور عبد العزيز إلى تحليل تكلفة في أحد الميادين الهامة ألا وهو ميدان

توليد الوقود باستخدام المعجلات ذات الطاقة العالية لتحويل ثو - ٢٣٢ الخصب إلى يو - ٢٣٣ القابل للانشطار أو يو - ٢٣٨ إلى بلو - ٢٣٩ وتقديرات للتكلفة الأولية لوقود مولد بمعجل هي ١٠٠ دولار إلى ٢٠٠ دولار للجرام. ويقال أن هذا أغلى بكثير من السعر الحالي وهو ٣٠ دولار لجرام يو - ٢٣٥ . بيد أن الدكتور عبد العزيز أجاب بأن موقف الطاقة قد يتطور - بل وسوف يتطور بالتأكيد - في المستقبل حيث سيتعين انتاج الوقود النووي بأية وسيلة. وأضاف قائلاً أن هذا الأسلوب يمكن تحسينه مستقبلاً وأن اقتصادياته قد تكون أنسب. وقال أن الأسلوب مجدي. وأظهرت التقديرات أن أكثر من ١٠٠٠كجم/سنة من يو - ٢٣٣ أو بو - ٢٣٩ يمكن إنتاجها في معجل ذي طاقة عالية وهي كمية تكفي لدعم طاقة مفاعل كهربائي تقليدي تتراوح قوته ما بين ٣٠٠٠ و٦٠٠٠ ميجاوات. وهذا النوع من الاستخدام يعطي المعجلات ضرباً من التأثير الاستراتيجي. وهناك استخدام آخر لمعجلات الطاقة المنخفضة في هذه الحالة والشيء الذي يعطيها أهمية استراتيجية هو تجربة المواد القابلة للانشطار لدعم برنامج الوقاية النووية. وقال الدكتور عبد العزيز أن اقتصاديات المجموعة غير المدمرة للمواد القابلة للانشطار تكون في هذه الحالة أنسب بعامل يزيد على ٢٠ إذا قورن بمجموعة كيميائية تستخدم مفاعلات مرتفعة الحرارة تبرد بالغاز.

وكانت النقطة التالية التي عالجها الدكتور عبد العزيز هي القضية الهامة الخاصة بحاجات الدول النامية. وقد لاحظ د. عبد العزيز أن على المرء أن يقدر في المقام الأول توفر المهارة والمزايا الاقتصادية لاستخدامات المعجل مع وجود سياسة متوازنة في الاختيار بين الطريقة التقليدية وطريقة المعجل. وقدم الدكتور عبد العزيز بعض توصيات خاصة بالخطتين القصيرة والطويلة الأجل في ظل الخبرات الفنية والخلفيات الفنية المتاحة في دولة نامية. وأضاف قائلاً أن برنامجاً ضخماً للتقنية النووية قد يكون استنزافاً لمجموعة الأفراد الفنيين يمكن أن يؤثر على خطط التنمية الأخرى. وأعطى فكرة عن المعجل الأول بدولة

نامية قائلاً أنه سيكون معجلاً منخفض الطاقة لاستخدامه في التدريب والتعليم والبحث. ويمكن استخدام معجلات صغيرة أخرى وخاصة في الطب النووي وذلك وفقاً للحالة المحلية الفنية والأحوال الأخرى المذكورة آنفاً. وأضاف الدكتور عبد العزيز قائلاً إن الخطوة التالية بعد اكتساب الخبرة بالمعجل هي المعجل ذو الطاقة العالية للأبحاث والتطبيقات العملية، شيء مثل الكهراستاني الترادفي (مثل المعجل ١٢ م.إ.ف.بروتون). وأوصى الدكتور عبد العزيز بأن الخطوة الأكثر تقدمية التي تأتي في وقت لاحق في البرنامج طويل الأجل هي مشروع معجل مشترك بالتعاون مع مجموعة من الدول النامية كالدول العربية مثلاً لانشاء مختبر أبحاث نووي متمركز على معجل طاقته بضع عشرات م.إ.ف للبروتونات وبضع مئات م.إ.ف.للأيونات الثقيلة المتضاعفة الشحنة.ويمكن أن يكون هذا المرفق ترادفي كهرإستاتي من النوع المسمى بيليترون (من الطراز المطوي) أو سيكلوترون ميداني سمتي متغاير ويكون آلة متعددة الأغراض. واختتم الدكتور عبد العزيز حديثه بتقديم مخططات تمهيدية لبرامج التدريب مشيراً إلى أن هذه المخططات سوف تتضمن فئتين: ـ

١ ـ التدريب التخصصي على المعجل (عدسات الالكترون ـ التشخيص بحزمة الأشعة ـ مثلاً).

٢ ـ التدريب التقليدي (مثل الالكترونيات ـ التفريغ العالي... الخ.)

بعد ذلك ينظر في تشغيل الأخصائيين المدربين على ثلاثة مستويات: العاملون الفنيون والمهندسون والعلميون.

وعن المناقشات التي دارت في نهاية حديثه سئل الدكتور عبد العزيز عن أنسب استخدامات المعجلات الصغيرة في ليبيا. وكان من رأيه أن يكون للطب النووي الأولوية وأن من الممكن أيضاً استعمال المعجل الالكتروني الخطي كوحدة معالجة بالاشعاع للاستخدامات العملية مثل تعقيم المعدات الطبية ومعالجة المحاصيل بالاشعاع مشيراً بصفة خاصة إلى البصل الذي يمثل احدى المشاكل الوطنية. بيد أنه حذر من أن يكون تشغيل الأخصائيين والفنيين

مشكلة تتطلب النظر. وأشار في هذا الصدد إلى المعجل الصغير «فان دي جراف» قوة ٤٠٠ك.إ.ف. الذي أشرف بنفسه على مشروعه بجامعة الفاتح وكيف أنه تعطل بعض الوقت بسبب عقبات مثل عدم وجود فني متخصص لصيانته.

وانتهى تقديم أربع دراسات عند هذا الحد. وكان من سوء الحظ أن دراستين عن «القوة النووية والمفاعلات لتوليد القوة» للدكتور ك. عفت و«التفجيرات النووية للتطبيقات السلمية» للدكتور أ. الجبيلي لم تتح لهما الفرصة لتقديمهما في هذا الاجتماع. لهذا فنحن نحيل القارىء إلى ملخصات دراستهما بهذا المجلد أو إلى التقريرين الكاملين في المجلدين رقم ٥، ٦.

وإذا نظرنا إلى ما أسفر عنه اجتماع هيئة الخبراء من استنتاجات وتوصيات خاصة بجميع الدراسات نرى على الفور أن هناك اتفاقاً عاماً على النقاط التالية:

١ ـ التقنية النووية معقدة جداً ولا تخلو من أخطار وتتضمن ميزانيات باهظة وضخمة كما تتطلب أفراداً متخصصين تخصصاً عالياً.

٢ ـ الدول النامية بحاجة إلى التقنية النووية بشرط الاختيار الدقيق للمشروع أو المشروعات النووية القائمة على خطط واقعية تناسب الظروف المحلية للدولة النامية.

٣ ـ في معظم الحالات التي تدرس فيها مشروعات يوصى بشدة تضافر جهود أكثر من دولة نامية للتعاون على شكل معهد أو مركز اقليمي يجمع امكانيات من نوع أو آخر متوفرة في الدول المشاركة.

٤ ـ هناك مشاكل للتقنية النووية في الدول النامية حيث يوجد تفاوت عريض يفصل الدول النامية ويعزلها عن الدول المتقدمة. وفي النهاية يملي الموقف الخطير النظر في دور الدول النامية وحاجاتها من التقنيات النووية. وقد ألقت الدراسات التي أجراها فريق التقنية النووية الضوء على هذا الموضوع حيث قدمت توصيات واقترحت برامج.

ويرى أعضاء الفريق أن القضايا والمشاكل الحقيقية للتقنية النووية في الدول النامية ينبغي دراستها على مستوى دولي وأن ينبه إليها العلماء من جميع أنحاء العالم مع اشراكهم في هذه المقترحات.

نتيجة لذلك فقد أقرت هيئة الخبراء عقد «مؤتمر دولي ـ للتقنية النووية في الدول النامية: المشاكل وامكانيات النجاح».

د. م. ع. عبد العزيز
رئيس فريق التقنية النووية

الثمن : ٢٥ ل. ل. أو مَا يعَادِلهَا